

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних електронних систем
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

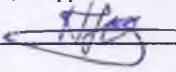
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

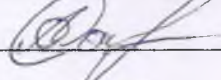
«Автогенераторний перетворювач вологості»

Виконав: студент 2-го курсу, групи КІВТ-22м
спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

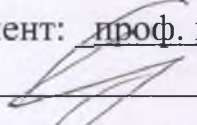
 Перегняк Ю.В.
(прізвище та ініціали)

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

 Савицький А.Ю.
(прізвище та ініціали)

«18» 12 2023 р.

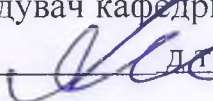
Опонент: проф. каф. ІКСТ, д.т.н., доц.

 Михалевський Д.В.
(прізвище та ініціали)

«19» 12 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

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

«20» 12 2023 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
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

д.т.н. проф. Осадчук О.В.

«18» вересня 2023 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Пережняку Юрію Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автогенераторний перетворювач вологості

керівник роботи

к. т. н. доц., Савицький А.Ю.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «18» 09 2023 року № 247

2. Строк подання студентом роботи 19 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи:

Діапазон напруги на виході перетворювача 0,1...5 В;

Тип перетворювача – емнісний;

Мікропроцесорна платформа – Arduino;

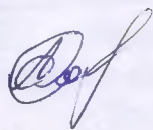


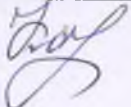
Мова програмування – STL.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Особливості об'єкта дослідження, фізико-математичне представлення сенсорів вологості, апаратна та програмна реалізація перетворювача вологості, розробка математичної моделі автогенераторного перетворювача для вимірювання вологості, економічна частина, додатки, список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень).

структура перетворювача вологості на основі плівки Al₂O₃, аналізатори вологості ADGS200/IR, Sartorius MA100, Евлас 2М, KERN DBS60-3, тензіометричні вологоміри, вимірювач параметрів ґрунтів ВПГ-4ц, вологоміри GAC 500XT, МГ4.01 "Колос", Draminski GMM, залежність вологості від напруги, вологомір на базі Arduino, зовнішній вигляд перетворювача вологості

6. Консультанти розділів роботи

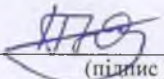
| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------------------|---|---|---|
| | | завдання видав | виконання прийняв |
| Основна частина | доцент кафедри ІРТС к.т.н. доц., Савицький А.Ю. |  |  |
| Економічна частина | доцент кафедри ЕПВМ, доцент, к.е.н., Кавецький В.В. |  |  |

7. Дата видачі завдання 18.09.2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

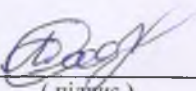
| № з/п | Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|-------------------------------|----------|
| 1. | Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі. | 02.09.2023-07.09.2023 | |
| 2. | Огляд та аналіз літературних джерел. | 08.09.2023-13.09.2023 | |
| 3. | Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР. | 14.09.2023-27.09.2023 | |
| 4. | Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень. | 28.09.2023-13.10.2023 | |
| 5. | Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження. | 14.10.2023-06.11.2023 | |
| 6. | Розробка графічної частини МКР. | 07.11.2023-16.11.2023 | |
| 7. | Економічна частина. | 17.11.2023-24.11.2023 | |
| 8. | Оформлення пояснювальної записки та графічної частини. | 25.11.2023-02.12.2023 | |
| 9. | Нормоконтроль. | 03.12.2023-10.12.2023 | |
| 10. | Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР. | 11.12.2023-19.12.2023 | |
| 11. | Захист МКР ЕК. | 21.12.2023 | |

Студент


(підпис)

Перегняк Ю.В.

Керівник роботи


(підпис)

Савицький А.Ю.

АНОТАЦІЯ

УДК 004.457

Перегняк Ю..В. Автогенераторний перетворювач вологості. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 152 – метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка, освітня програма - комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології. Вінниця: ВНТУ, 2023. 89 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 33 назв; рис.: 21; табл. 11.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено автогенераторний перетворювач вологості. Об'єктом дослідження є значання вологості об'єктів вимірювання. Проведена класифікація основних видів гігрометрів, а саме: ємнісні, резистивні, термисторні, оптичні і електронні.

Розроблено математичну модель мікроелектронного автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря з вологочутливим ємнісним елементом НСН-1000. Встановлено, що на виході автогенератора існують схемотехнічного моделювання LTSpice. Дослідження проводились у діапазоні зміни вологочутливої ємності від 305 пФ до 354 пФ, що відповідає збільшенню значення відносної вологості повітря від 20% до 95%. Отримані теоретичні та експериментальні дослідження мають гарний збіг, відносна похибка не перевищує 1,5%.

Ключові слова: вимірювальний перетворювач, сенсор, математична модель, вологість.

ABSTRACT

Yu.V. Peregniak Autogenerator humidity converter. Master's qualification thesis on specialty 152 - metrology and information and measurement technology, educational program - computerized information and measurement technologies. Vinnytsia: VNTU, 2023. 89 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 33 titles; Fig.: 21; table 11.

An autogenerator humidity transducer was developed in the master's qualification work. The object of research is the value of humidity of measurement objects. The main types of hygrometers are classified, namely: capacitive, resistive, thermistor, optical and electronic.

A mathematical model of a microelectronic self-generating device for measuring relative air humidity with a moisture-sensitive capacitive element HSN-1000 has been developed. It is established that at the output of the autogenerator there are LTSpice circuit simulations. The research was carried out in the range of changes in the moisture-sensitive capacitance from 305 pF to 354 pF, which corresponds to an increase in the value of relative air humidity from 20% to 95%. The obtained theoretical and experimental studies have a good agreement, the relative error does not exceed 1.5%.

Keywords: measuring transducer, sensor, mathematical model, humidity.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 7 |
| 1 ОСОБЛИВОСТІ ОБЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ (НА ПРИКЛАДІ ВОЛОГОСТІ ГРУНТУ) | 9 |
| 1.1 Вологість як фізична величина | 9 |
| 1.2 Засоби для визначення вологості | 13 |
| 1.3 Методи для визначення вологості | 17 |
| 1.4 Задачі дослідження | 20 |
| 2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВОЛОГОЧУТЛИВОСТІ ГРУНТУ | 21 |
| 2.1 Сучасні перетворювачі вологості на методи їх роботи | 21 |
| 2.2 Практичне застосування сенсорів вологості | 27 |
| 2.3 Висновки до розділу | 32 |
| 3 АПАРАТНА ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВОЛОГОСТІ | 33 |
| 3.1 Апаратна реалізація перетворювача вологості | 33 |
| 3.2 Калібрування перетворювача вологості | 38 |
| 3.3 Висновки до розділу | 39 |
| 4 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ АВТОГЕНЕРАТОРНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ | 40 |
| 4.1 Постановка математичної задачі | 40 |
| 4.2 Розробка електричної схеми автогенераторного перетворювача вологості | 43 |
| 4.3 Перевірка адекватності розробленої математичної моделі. Експериментальні дослідження | 46 |
| 4.4 Аналіз та оцінення похибок вимірювань..... | 49 |
| 4.5 Висновки до розділу | 50 |
| 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА | 51 |
| 5.1 Оцінювання наукового ефекту..... | 51 |
| 5.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи..... | 54 |
| 5.2.1 Витрати на оплату праці..... | 56 |
| 5.2.2 Відрахування на соціальні заходи..... | 56 |

| | |
|--|-----------|
| | 6 |
| 5.2.3 Сировина та матеріали..... | 60 |
| 5.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі..... | 60 |
| 5.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт..... | 61 |
| 5.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт..... | 62 |
| 5.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень..... | 63 |
| 5.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей..... | 64 |
| 5.2.9 Службові відрядження..... | 66 |
| 5.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації..... | 67 |
| 5.2.11 Інші витрати..... | 68 |
| 5.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати..... | 68 |
| 5.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи..... | 70 |
| 5.4 Висновок до розділу..... | 75 |
| ВИСНОВКИ..... | 77 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 79 |
| Додаток А (обов'язковий) Ілюстративна частина..... | 83 |
| Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки роботи..... | 89 |
| Додаток В (довідниковий) Фрагмент лістингу програмного забезпечення. Отримання та оброблення інформаційного сигналу з ємнісного перетворювача | 91 |

ВСТУП

Актуальність теми. В сучасному світі, автоматизація і впровадження інтелектуальних систем набувають все більшого значення у різноманітних галузях промисловості. Однією з ключових областей є вимірювання вологості, яке використовується в різних сферах, таких як сільське господарство, промисловість, медицина, будівництво та інші.

Автогенераторні вимірювальні перетворювачі вологості є інноваційними пристроями, які поєднують в собі високу точність вимірювань і автоматизований підхід до збору даних. Ці пристрої використовують сучасні технології, такі як сенсори, мікроконтролери та програмне забезпечення для забезпечення швидкого, точного і ефективного вимірювання вологості в різноманітних умовах експлуатації. У даній магістерській кваліфікаційній роботі (МКР) розглядається розробка та впровадження автогенераторного вимірювального перетворювача вологості. В основі пристрою лежить принцип автогенерації, який дозволяє пристрою автоматично адаптуватися до змінних умов навколишнього середовища та забезпечувати стабільні і точні вимірювання вологості.

Ця МКР включає в себе детальний аналіз вимог, проектування апаратної та програмної частини автогенераторного вимірювального перетворювача, а також експериментальне дослідження його продуктивності в різних умовах. Застосування автогенераційного підходу дозволяє оптимізувати роботу перетворювача та забезпечує йому високий рівень надійності в реальних умовах експлуатації.

Результати даної МКР можуть виявити значний вплив на розвиток технологій вимірювання вологості та забезпечити нові можливості для автоматизації процесів, пов'язаних із контролем вологості в різних галузях промисловості та науки.

Отже, розробка автогенераторного перетворювача вологості є актуальною.

Мета і завдання роботи. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є дослідження процесу вимірювання вологості ґрунту за допомогою автогенераторного перетворювача.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є процес перетворення вимірюваної величини у зміну інформативного параметру вимірювального сигналу.

Предметом дослідження є математичні методи (моделі) та засоби вимірювання

та контролю вологості.

Новизна одержаних результатів. Наукова новизна магістерської кваліфікаційної роботи полягає у тому що створено математичну модель мікроелектронного автогенераторного пристрою для вимірювання відносної вологості повітря, причому сам перетворювач побудовано на транзисторній структурі з від'ємним диференційним опором, яка базується на двох біполярних транзисторах і вологочутливому ємнісному елементі, що дозволило зменшити відносну похибку на 0.1%.

1 ОСОБЛИВОСТІ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ (НА ПРИКЛАДІ ВОЛОГОСТІ ГРУНТУ)

1.1 Вологість як фізична величина

Оцінка кількості вологи в атмосферному повітрі, сільськогосподарських матеріалах або інших об'єктах визначається за допомогою показників: вологовмісту, абсолютної і відносної вологості.

Вологість з технічної точки зору - це кількість водяних парів у повітрі або в іншому середовищі. Цей параметр є важливим фактором в багатьох технічних галузях і може впливати на функціонування різних пристроїв і систем.

Вимірюється вологість відносною вологістю в відсотках. Вона визначає, наскільки насичений повітря водяним паром у порівнянні з максимально можливою ситуацією при тій же температурі. Висока вологість може мати важливий вплив на конденсацію, корозію, теплообмін, якість матеріалів та ефективність багатьох технічних процесів.

У контрольованих технічних середовищах, таких як лабораторії, виробничі приміщення, медичні заклади чи інші спеціалізовані області, важливо зберігати сталий рівень вологості для забезпечення нормального функціонування обладнання та збереження якості продукції. Вимір вологості зазвичай здійснюється за допомогою гігрометрів або інших відповідних пристроїв.

Вологовміст повітря "d" [кг/кг або г/кг] визначається масою Мп водяної пари (1 кг), яка припадає на одиницю маси (1 кг) сухої частини повітря. Це відношення густини водяної пари в повітрі до густини власне повітря і виражається у кількості кілограмів водяної пари на кілограм сухого повітря.

Абсолютна вологість повітря "ρ" [кг/м³] визначається масою водяної пари, яка міститься в одиниці об'єму вологого повітря (парогазової суміші). Зазвичай величина "ρ" виражається в грамах на 1 м³ вологого повітря [г/м³] і характеризує густину водяної пари.

Відносна вологість повітря "R" [%] - це величина, яка визначає ступінь насичення повітря водяними парами. Вона розраховується як відношення

парціального тиску водяної пари в повітрі до парціального тиску насиченої водяної пари при одній і тій же температурі і визначається за відповідною формулою (1.1).

$$R = (r_p/r_n) \cdot 100 \%, \quad (1.1)$$

де r_n [Па] – парціальний тиск водяної пари в повітрі, r_n [Па] – тиск пари, що знаходиться в рівновазі з рідкою водою при температурі T . Власне r_n – це максимальне значення, яке може приймати парціальний тиск пари r_p при температурі T . При його збільшенні відбувається конденсація пари.

Температура точки роси (T_d) представляє собою температуру, при якій вологе повітря може бути охолоджено до насичення, зберігаючи сталу кількість вологи під час процесу охолодження. Точка роси (r_p) прирівнюється до насичення пари прирівнюється до насичення пари (r_n) при відповідній температурі.

Визначення точного значення вологості є важливим з погляду багатьох сфер і діяльностей, особливо в сільському господарстві, промисловості, науці та повсякденному житті. Ось кілька причин, чому точне вимірювання вологості має велике значення:

Вологість ґрунту має великий вплив на рост рослин. Визначення точної вологості ґрунту допомагає сільськогосподарським виробникам ефективно керувати поливом, підтримуючи оптимальні умови для росту рослин і підвищуючи врожайність.

У багатьох виробничих процесах вологість може впливати на якість і властивості матеріалів. Точне визначення вологості важливе у виробництві харчових продуктів, паперу, деревини, хімічних речовин і багатьох інших промислових галузях.

Вологість може впливати на функціонування електронних пристроїв. У виробництві електроніки важливо визначити вологість для запобігання можливим пошкодженням і поломкам обладнання.

Вологість може впливати на структуру будівельних матеріалів і може викликати проблеми, такі як пліснява, гниль або втрата міцності. Точне визначення вологості важливо для забезпечення довговічності і надійності будівель.

Вологість впливає на здоров'я людини та комфортні умови життя. Управління вологістю в приміщеннях допомагає уникнути проблем, таких як збільшення ризику захворювань, алергій та погіршення якості повітря.

Таким чином, точне вимірювання вологості важливе для забезпечення оптимальних умов у різних галузях, що призводить до покращення якості продукції, збільшення продуктивності та забезпечення комфорту і безпеки.

Вологість твердих і сипучих матеріалів можна визначити виразом кількості вологи у кількості кілограмів води на один кілограм абсолютно сухого матеріалу ($[1 \text{ кг води}/1 \text{ кг сухого матеріалу}] \cdot 100\%$), або виразити як вологість у кількості кілограмів води на один кубічний метр вологого матеріалу ($[1 \text{ кг води}/1 \text{ кг вологого матеріалу}] \cdot 100\%$).

Існує різноманіття методів вимірювання вологості повітря, речовин і матеріалів. Один з давніх і простих методів базується на властивості волосся змінювати свою довжину при зміні вологості повітря. Такий гігрометр використовує волосся, натягнуте між двома пружинами. Незважаючи на його простоту, гігрометри з волоссяними датчиками широко застосовуються.

Щодо методів прямого вимірювання вологості, гравіметричний метод включає виділення вологи з матеріалу і подальше вимірювання маси вологого і сухого матеріалу або виділеної вологи. Цей метод може бути випарно-гравіметричним, термогравіметричним або вакуумно-гравіметричним в залежності від способу видалення вологи з речовини.

Основні методи вимірювання вологості повітря, газів і матеріалів включають психометричний метод (залежність від ступеня охолодження води, яка випаровується у газовий простір, від вологості газу), температурно-рівноважний метод (залежність різниці тиску водяної пари над розчином і над чистою водою від вологості газу) і методи, що використовують фізичні гігроскопічні властивості твердих тіл.

Інші методи включають аналіз поглинання ІЧ радіації вологим газом, поглиблення енергії в електромагнітних хвилях, методи, що використовують теплопровідність, густину та інші фізичні властивості газів і матеріалів.

Загальна характеристика базових методів визначення вологості представлено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Методи вимірювання вологості

| Метод вимірювання | | Вимірюваний параметр |
|-------------------|--|--|
| Група | Принцип | |
| Прямі | Гравіметричний (випарно-, термо-, вакуумно-гравіметричні) | Маса, об'єм |
| Непрямі | Психрометричний | Різниця температур |
| | Конденсаційний (точка роси) | Температура конденсації пари води |
| | Сорбційні (кулонометричний, електролітичний) | Електричний струм, температура насичення |
| Електричні | Резистивний | Електричний опір |
| | Ємнісний | Ємність, діелектрична проникливість |
| Електро-магнітні | П'єзосорбційний | Частота коливань |
| | Геофізичний (георадар) | Діелектрична проникливість |
| | Надвисокочастотний | Амплітуда, фаза, поляризація |
| Радіаційні | Нейтронний | Сповільнення нейтронів |
| Оптичні | Фотометричний, інфрачервоний | Довжина хвилі, інтенсивність світлового потоку |

У сучасних технологічних процесах найчастіше використовуються вимірювання вологості повітря, ґрунту, зерна, продуктів та матеріалів.

1.2 Засоби для визначення вологості

Пристрої, призначені для вимірювання вологості повітря, включаючи первинний датчик, називаються гігрометрами. Їх можна розділити на дві групи: а) гігрометри, засновані на законах фізики, що дозволяють безпосередньо визначати вологість, це психрометри, конденсаційні гігрометри, адсорбційні (кулонівські, електролітичні) гігрометри, б) гігрометри, принцип дії яких заснований на вимірюванні властивості газів і матеріалів, пов'язаних з вологістю, наприклад, імпедансні гігрометри. Зазначена група гігрометрів дозволяє визначити один із параметрів вологості. Це такі параметри та гігрометри: а) температура точки роси T_d ($^{\circ}\text{C}$), визначена конденсаційним, адсорбційним та електролітичним гігрометром і гігрометром на основі оксиду алюмінію; б) температура вологого термометра T_v ($^{\circ}\text{C}$), виміряна за допомогою психрометра; с) Відносна вологість R (%), визначена на основі змін опору та ємності за допомогою гігрометра. Розглянемо ці комплекти гігромерів докладніше.

Імпедансний гігрометр. Для визначення вмісту вологи в повітрі (газі) і різних середовищах широко застосовують адсорбційні перетворювачі імпедансу, принцип дії яких полягає в залежності загального опору (імпедансу) вологочутливого шару адсорбенту від кількості адсорбованої вологи. Вони використовують переваги явища поглинання вологи на зовнішній поверхні тонкого шару матеріалу (тонкоплівковий поліпропілен) або поглинання вологи тонким шаром або певним об'ємом капілярного матеріалу (товстоплівковий поліпропілен). Як адсорбенти використовують гігроскопічні іоноутворюючі солі (хлористий літій, хлорид кальцію, фтористий берилій та ін.). Загальними недоліками сенсорів з такими сорбентами є низька стабільність (особливо при високій вологості), низька чутливість при низькій вологості, великий гістерезис. Поширеними є сенсори, що використовують органічні полімерні сорбенти, неорганічні сорбенти на основі оксидів металів і гібридні сорбенти (акрилати, метакрилатні полімери, поліакрилатні полімери міді, аміновмісні силіконові полімери тощо). Існує два основних варіанти конструкції цього типу датчика: планарне розташування електродів (зазвичай гребінчасте) і структура типу «сендвіч», як показано на малюнку 1. 1.1.

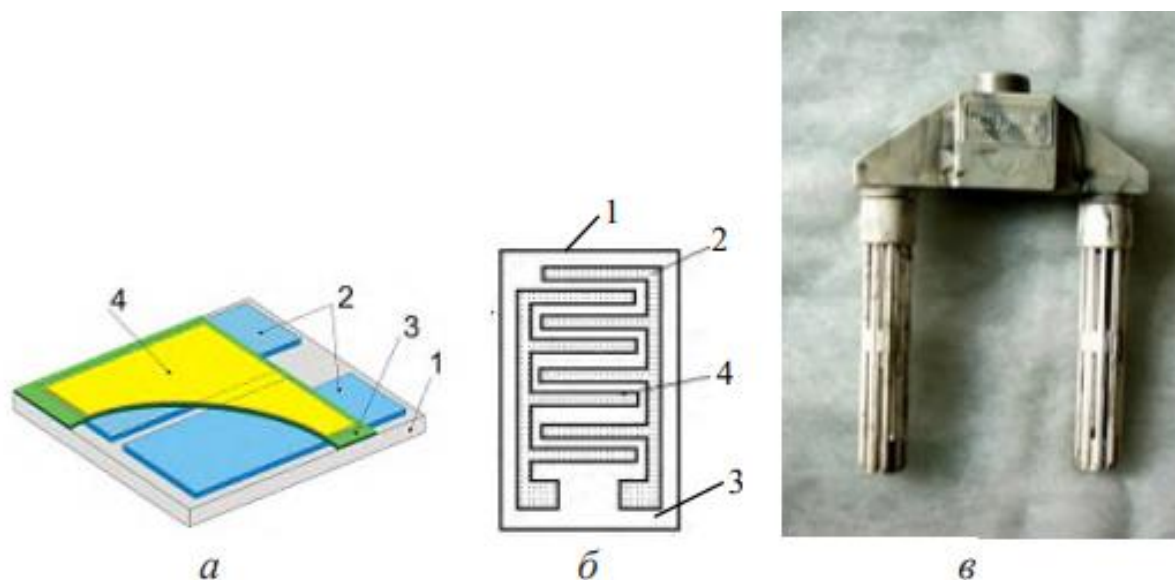


Рисунок 1.1 – Перетворювачі вологості типу «сендвіч» (а), з гребінчастими електродами (б) та сорбційний ДВ-1К (в)

На рисунку 1.1 наведено наступні позначення: 1 – вкладиш, 2, 4 – електроди, 3 – адсорбційна мембрана.






Датчик має структуру «сендвіч», виготовлений на підкладці з ситалу або полістиролу. Для електродів використовується нікель з шаром ванадію, а чутливим гідрофільним шаром служить полімерна наноструктурована плівка. В якості другого електрода на шарі діелектричної плівки утворюється вологопроникна золота плівка нанометрового розміру. Постійна часу датчика відносної вологості становить 1-2 с, а значення гістерезису може досягати 2%.

Гігрометри повного опору можна розділити на три категорії: резистивні, ємнісні на основі полімерних діелектриків і ємнісні на основі оксиду алюмінію.

Перетворювачі опору використовують співвідношення між відносною вологістю та опором гігроскопічного середовища. Варіації опору можуть охоплювати від 1 Ом до 80 МОм. Основною перевагою резистивних датчиків є їх взаємозамінність, яка становить близько $\pm 2\%$, що дозволяє використовувати резистори для калібрування датчиків з невеликими витратами.

Характеристики резистивних перетворювачів Sencera наведені в таблиці. 1.2.

Таблиця 1.2 - Резистивні і ємнісні перетворювачі компанії Sencera

| | | | | | |
|------------------------------------|---|--|---|--|---|
| Тип датчика | H200M і H300M  | H500M  | H600M  | 808H5V5  | Sens 818  |
| Тип волого-чутливого елемента | Резистивний | Ємнісний | Ємнісний | Ємнісний | Ємнісний |
| Тип датчика температури | Терморезистор 50 кОм | Терморезистор 50 кОм | Терморезистор 50 кОм | | |
| Діапазон вимірюваної вологості, % | 10 – 95 | 0 – 100 | 0 – 100 | 0 – 100 | 0 – 100 |
| Основна похибка, % | ± 5 | ± 4 | ± 4 | ± 4 | ± 1 |
| Напруга живлення, В | 5 ± 5% | 5 ± 2% | 5 ± 2% | 5 ± 5% | 12 DC |
| Діапазон вихідної напруги, В | 0 ~ 3.0 | 0.38 ~ 0.68 | 0.38 ~ 0.68 | 0.8 ~ 3.9 | |
| Струм споживання, мА | < 5 | < 1.5 | < 1.5 | < 1.2 | |
| Робочий температурний діапазон, °С | 0 ... +60 | 0 ... +50 | -20 ... +70 | -40 ... +85 | -40...60 |
| Розмір, мм | 34x22x13 | 34,5x22x12 | 34,5x22x12 | 12.5x8x5 | 7,6x3,6x10,2 |

Оскільки опір гігрометра залежить як від вологості, так і від температури, для підвищення точності вимірювання і температуру навколишнього середовища потрібно контролювати одночасно.

Перетворювачі з вуглецевими датчиками вологи виготовляють із дрібно подрібненої вугільної або газової сажі, покритої гігроскопічним клеєм

(гидроксиетилцелюлоза, ацетилцелюлоза та ін.) на основі з оргскла або полістиролу. Протилежні сторони основи покриті металом, наприклад сріблом, який виконує роль електродів. Вихідним параметром вугільного датчика є його опір. Зі збільшенням вологості опір датчика зростає. Опір датчика також зростає з температурою. Постійна часу вугільного датчика мала: 2~6 с.

Значною перевагою вугільних датчиків є їх здатність відновлювати свої властивості після впливу атмосфери відносної вологості 100%. Недоліками є великий гістерезис (до 10%), залежність показань від температури, недостатня стабільність характеристики.

У гігрометрах з керамічними датчиками залежність опору пористої кераміки з використанням одного або кількох оксидів металів від вмісту вологи в навколишньому середовищі. Існує два типи датчиків: іонні датчики провідності та електронні датчики провідності. В іонних сенсорах загальний опір зменшується зі збільшенням вологості, що викликано фізичною адсорбцією на поверхні та конденсацією молекул води в мікрокапілярах. У датчиках з електронною провідністю адсорбовані молекули води діють як донорні центри та постачають електрони до кераміки.

Керамічні датчики є товстоплівковими датчиками, товщина їх вологостійкого шару перевищує 10 мкм. Датчик використовує кераміку з CoO , Fe_2O_3 . Опір таких датчиків зменшується на 6 порядків при підвищенні вологості від 30% до 100%.

Основним недоліком керамічних датчиків є дуже високий опір ($R \approx 10^8$ - 10^{10} Ом) при вологості нижче 30%. Використання багатокомпонентної кераміки знижує опір і підвищує чутливість сенсора. Японські компанії розробили понад 70 керамічних компонентів для використання в датчиках вологості. Цей тип датчика має високу чутливість і стабільність, а також низький опір при нульовій вологості ($R \approx 10^5 - 10^6$ Ом). Основним недоліком керамічних датчиків є складність вимірювання низької вологості (менше 1%).

Загальним недоліком резистивних датчиків вологості є експоненціальна залежність опору від вологості, що вимагає використання складних схем вимірювання.

У найпростішому вигляді ємнісний гігрометр являє собою звичайний конденсатор з повітряним зазором (Додаток А, рисунок 1-6). Діелектрична

провідність повітря залежить від вологості, а її зміни спричиняють зміну електроємності. Повітряний проміжок можна замінити діелектриком, діелектрична проникність якого істотно змінюється під впливом вологості. Ємнісні датчики мають майже лінійні характеристики перетворення вологості в ємність і більш точні, ніж резистивні датчики. Вони характеризуються низьким температурним коефіцієнтом, можуть працювати при високих температурах (до 200 °С) і мають помірну стійкість до хімічних парів. Завдяки широкому діапазону вимірювань і високій точності ємнісні датчики широко застосовуються в системах автоматичного контролю та керування. Ємнісні датчики виробляють провідні вітчизняні та зарубіжні компанії.

1.3 Методи для визначення вологості

Методи вимірювання вологості повітря. Гігрометр або датчик вологості – це пристрій для вимірювання рівня вологості. У повсякденному житті вологість є важливим параметром, часто не тільки для повсякденного життя, але і для різних електроприладів.

За принципом роботи гігрометр буває:

- ємнісні;
- резистивний;
- термісторні;
- оптичні;
- електронні.

Ємнісний метод. У найпростішому випадку ємнісний гігрометр (рис. 1.2) являє собою конденсатор з повітрям у зазорі як діелектрик. Як ми знаємо, діелектрична проникність повітря пов'язана з вологістю, а зміни діелектричної вологості спричиняють зміни ємності невагомих конденсаторів.

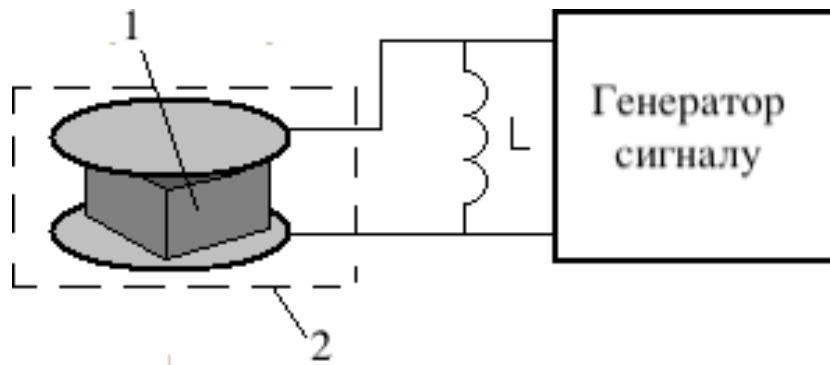


Рисунок 2.2 – Ємнісний датчик вологості

На рисунку 2.2 наведено такі позначення:

- 1 - досліджуваний зразок,
- 2 - повітряний конденсатор.

Безсумнівно, цей метод також має деякі недоліки. Наприклад, якщо вміст вологи в зразку менше 0,5%, він стане неточним. Крім того, зразок для перевірки повинен бути очищений від частинок з більш високою діелектричною проникністю і мають різні форми. Також дуже важливо, щоб зразок вимірювався під час процесу і не потребував змін під час дослідження.

Резистивний метод. Резистивний датчик вологості (рис. 2.3) являє собою аналогічний датчик, який складається з двох електродів, накладених на підкладку, поверх цих електродів наноситься шар матеріалу, який характеризується досить малим опором, але може легко змінюватися в залежності від на обстановку. вологість.

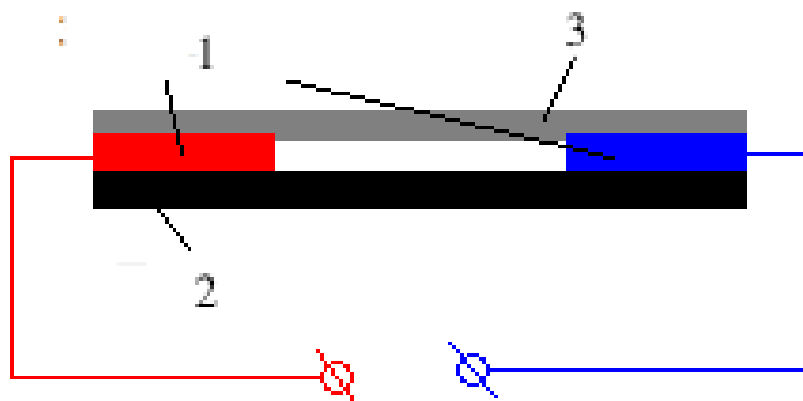


Рисунок 2.3–Резистивний датчик вологості

На рисунку 2.3 наведено такі позначення: 1 – електрод, 2 – підкладка, 3 – оксид алюмінію.

Оксид алюмінію є відповідним матеріалом для цього пристрою. Цей оксид відмінно вбирає вологу з навколишнього середовища і його питомий опір істотно змінюється. Тому загальний опір вимірювального контуру такого датчика буде залежати від вологості. Так, кількість струму, що протікає, вкаже на ступінь вологості. Перевагою такого датчика є його низька вартість.

Термісторний метод. Термісторний гігмометр (рисунок 2.4) складається з пари однакових термісторів. Нагадаємо, що термістор – це нелінійний електричний компонент, значення температури якого сильно впливає на опір.

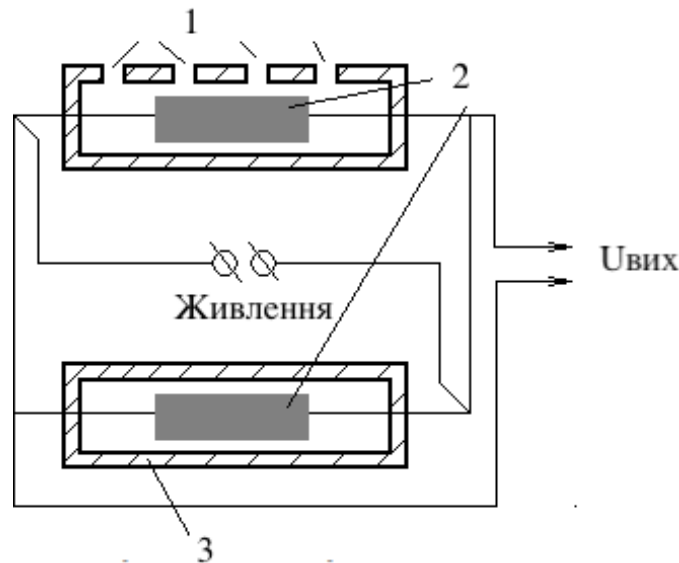


Рисунок 2.4 – Термісторний датчик вологості

На рисунку 2.4 наведено такі позначення: 1 – камера з отвором, 2 – терморезистор, 3 – герметична камера.

Один з терморезисторів, включених в цю схему, поміщається в герметичну камеру з сухим повітрям. Інший знаходиться в камері з отворами, через які надходить повітря з властивою вологістю, величину якої необхідно виміряти.

Термістори підключаються за мостовою схемою, на першу діагональ моста подається напруга, а з другої діагоналі знімаються показання.

Якщо напруга на виході дорівнює нулю, температура обох компонентів буде однаковою, а значить, і вологість буде однаковою. Якщо значення напруги на виході стає відмінним від нуля, це означає, що в камері є різниця вологості. Отже, виходячи з отриманого значення напруги можна визначити вологість.

Оптичні методи. Оптичний (конденсаційний) датчик вологості – цей тип

датчика більш точний. Оптичні датчики вологості засновані на явищі «точки роси». При досягненні температури точки роси газова і рідка фази знаходяться в термодинамічній рівновазі. Якщо скло встановлено в газовому середовищі, температура на момент дослідження вище точки роси, а потім починається процес охолодження цього скла, то при певному значенні температури на поверхні почне утворюватися конденсат води і водяна пара в склі перетвориться на рідку фазу. Ця температура стане точкою роси. Наприклад, температура точки роси невіддільна і залежить від таких властивостей, як вологість і тиск навколишнього середовища. Тому, якщо у нас є можливість виміряти тиск і температуру точки роси, легко знайти вологість. Цей принцип лежить в основі роботи оптичних датчиків вологості.

Електронні методи. Електронні датчики вологості повітря працюють шляхом зміни напруги електроліту, що покриває будь-який електроізоляційний матеріал. Ці пристрої мають функцію автоматичного нагріву, пов'язану з точкою роси. Точку роси зазвичай вимірюють за допомогою насиченого розчину хлориду літію, який вважається дуже чутливим до найменших змін вологості. Для додаткової зручності такі гігрометри часто оснащуються термометром. Прилад характеризується високою точністю і малою похибкою. Він здатний вимірювати вологість незалежно від температури навколишнього середовища.

Отже, після огляду методів вимірювання вологості встановлено, що оптимальним методом є ємнісний. Детальне фізико-математичне представлення якого буде представлено у розділі 2.

1.4 Завдання дослідження

Завдання дослідження – розробка автогенерторного перетворювача вимірювання вологості. Об'єктом дослідження є значення вологості вимірюваного об'єкта. Тема дослідження – методи та засоби вимірювання та контролю вологості. Досягненню цілей роботи будуть присвячені наступні частини магістерської кваліфікаційної роботи.

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВОЛОГОЧУТЛИВОСТІ ҐРУНТУ

2.1 Сучасні перетворювачі вологості та методи їх роботи

Вода входить до складу навколишнього повітря і є важливою складовою всього живого (людини і тварин). Комфорт навколишнього середовища зазвичай визначається двома факторами: відносною вологістю і температурою. Від рівня вологості багато в чому залежить здоров'я і працездатність людини. Як правило, всі характеристики приладу визначаються при відносній вологості повітря 50% і температурі 20-25°C. На робочих місцях рекомендується підтримувати однакові умови (винятки: вологість у виробничих приміщеннях класу А повинна становити 38%, в операційних стаціонару 60% та ін.) [1].

Розвиток сучасної електронної техніки висуває нові вимоги до обладнання та компонентів, які працюють у нормальних умовах, особливо в екстремальних умовах. Сучасні датчики вологості точно вимірюють відносну вологість і призначені для використання в різних областях. Потреби промисловості варіюються від економічно ефективних рішень і простої інтеграції до надійного контролю складних промислових процесів і вимогливих технологій кондиціонування повітря.

Високоякісні датчики вологості, модулі, зонди та передавачі десятиліттями перевірені в більшості промислових застосувань. Для багатьох виробничих процесів дуже важливо підтримувати необхідний мікроклімат, особливо певний вміст водяної пари в повітрі або газі. Для виробничих процесів (наприклад, визначення властивостей деревини) використовується таке обладнання, як гігрометри і гігростати. використовувати. Перший вимірює вміст водяної пари, а другий підтримує його необхідний рівень [2].

Підтримка мікроклімату на заданому рівні важлива не тільки для певних виробничих процесів, а й для комфортного проживання людей. За допомогою датчиків вологості можна регулювати сухість повітря в приміщеннях, вимірювати водонасиченість ґрунту тощо [3].

Здоров'я людини залежить від температури, вітру, сонячної радіації, вологості та співвідношення цих параметрів. Для оцінки комфорту використовується індекс «температура-вологість» (ITV). Прилад, який використовується для вимірювання рівня вологості, називається гігрометр або просто датчик вологості. Найбільш прийнятна для людини вологість 40-60%. При збільшенні цієї кількості швидкість розмноження патогенних мікроорганізмів збільшується в рази, з'являються грибки. При зниженій вологості слизові пересихають, з'являється закладеність носа і сльозотеча.

Існує п'ять найбільш популярних типів датчиків вологості повітря:

- ємнісні;
- оптичні;
- резистивні;
- електронні;
- термісторні.

Кожен вид має свої переваги і недоліки. Вибір датчика вологості повітря для установки в конкретний прилад здійснюється на основі співвідношення недоліків і переваг конкретної моделі. [4].

Найпростішим варіантом цього вимірювального приладу є повітряний конденсатор. Принцип роботи заснований на зміні діелектричних властивостей повітря, які залежать від вмісту водяної пари в повітрі. Коли кількість водяної пари в газі змінюється, властивості і діелектрична провідність газу також змінюються. Коли діелектрична проникність вимірюється за допомогою аналізу даних, створюється враження, що повітря наповнене водяною парою. Більш складні модифікації відрізняються тим, що повітря замінюється спеціальним діелектриком між обкладинками конденсатора, який чутливий до вологості повітря. Прилад може вимірювати вологість не тільки газів, але і дрібних твердих предметів. Більш точний і досконалий приклад ємнісного датчика складається з двох гребінчастих електродів, розміщених на підкладці, яка замінює обшивку конденсатора.

Серед переваг ємнісних датчиків можна виділити: просту конструкцію, низьку вартість, надійність пристрою. [5].



Рисунок 2.1 - Ємнісний датчик вологості

До недоліків можна віднести:

- при вимірюванні точність нижча, коли виміряне значення наближається до нижчого рівня;
- чистота навколишнього середовища впливає на дані (діелектрична провідність багато в чому залежить від дрібного пилу в газі);
- датчик вимагає живлення [5].

Оптичні датчики вологості є більш точним типом датчиків вологості. Використовується у виробничому та лабораторному обладнанні, де процеси дуже чутливі до водяної пари. Використання таких датчиків в побутовій техніці не має сенсу. Принцип роботи оптичних датчиків вологості заснований на явищі «точки роси». При досягненні температури точки роси рідка і газова фази знаходяться в термодинамічній рівновазі. Якщо ви встановлюєте скло в газовому середовищі, встановлюєте скло десь, де в цей час температура точки роси вища, і ви починаєте охолоджувати це скло, тоді при певній даній температурі скла починає утворюватися водяний конденсат і ця вода пара перейде в іншу одну фазу, рідину. Ця температура стане точкою роси.

Наприклад, температура точки роси невіддільна і залежить від характеристик середовища, таких як тиск і вологість.

Підсумовуючи, якщо ми можемо виміряти тиск і температуру точки роси, то і легко визначити вологість. Цей принцип лежить в основі роботи оптичних датчиків вологості. Оптичний тип є як датчиком вологості, так і датчиком температури.

Перевагою оптичних датчиків є те, що вони є найточнішими з наявних датчиків,

але недоліком таких датчиків є їх висока вартість. Такі датчики не тільки найдорожчі, але і найточніші. Придбання оптичних датчиків для домашнього використання – майже розкіш [7].

Резистивні датчики мають просту конструкцію. Цей датчик вологості складається з двох електродів, накладених на основу, а поверх цих електродів нанесено шар матеріалу, який має досить низький опір, але легко змінюється залежно від вологості. Оксид алюмінію є відповідним матеріалом для цього пристрою. Цей оксид відмінно вбирає вологу з навколишнього середовища і його питомий опір істотно змінюється. Тому загальний опір вимірювального контуру такого датчика буде залежати від вологості. Величина струму, що протікає, буде вказувати на рівень вологості [4].

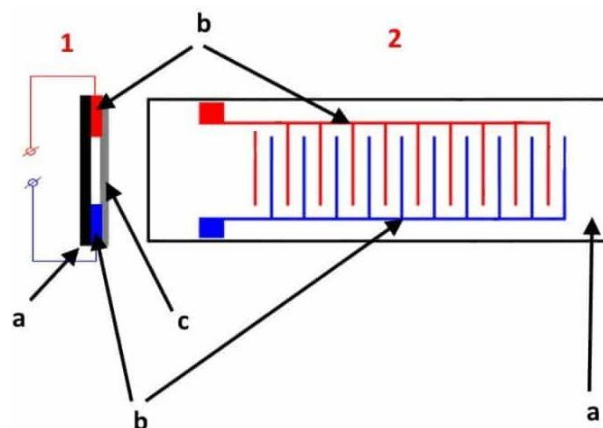


Рисунок 2.2 - Резистивний датчик вологості

На рисунку 2.2 наведено наступні позначення: 1 - вид збоку; 2 - вид зверху; а - керамічна підкладка; б - напилений електрод; в - гігроскопічне покриття на основі оксиду алюмінію.

Переваги даного типу датчика:

- Малі розміри, можуть бути встановлені в невеликому обладнанні. При цьому електронні гігрометри володіють достатньою для побутової техніки точністю вимірювань і надійністю.

- Можливість вимірювання зволоженого повітря незалежно від температури навколишнього середовища.

Недоліком даного типу датчика є найменша точність вимірювань [4].

Електричний датчик вологості. Принцип роботи електронних датчиків вологості повітря заснований на зміні напруги електроліту, який покриває будь-який електроізоляційний матеріал. Ці пристрої також мають автоматичне нагрівання та прив'язку точки роси. Як правило, значення «точки роси» вимірюють за допомогою насиченого розчину хлориду літію, який вважається дуже чутливим до найменших коливань вологості. Для більшої зручності гігрометр зазвичай комплектується також термометром [4].



Рисунок 2.3 – Електронний гігрометр

Прилад характеризується високою точністю і малою похибкою. Він здатний вимірювати вологість незалежно від температури навколишнього середовища [4].

Термісторний датчик складається з пари ідентичних термісторів. Термістор — це електронний нелінійний компонент, опір якого сильно змінюється при невеликих змінах температури. Один терморезистор датчика вбудовано в герметичну камеру сухого повітря, а інший контактує з навколишнім середовищем. При попаданні вологи на другий термістор частково відбувається конденсація і випаровування. Його температура і опір також зміняться. Термістори підключаються за мостовою схемою, на першу діагональ моста подається напруга, а з другої діагоналі знімаються показання. Якщо напруга на виході дорівнює нулю, температура обох компонентів буде однаковою, а значить, і вологість буде однаковою. Якщо значення напруги на виході стає відмінним від нуля, це означає, що в камері є різниця вологості. Так, при отриманому значенні напруги визначають вологість [9].

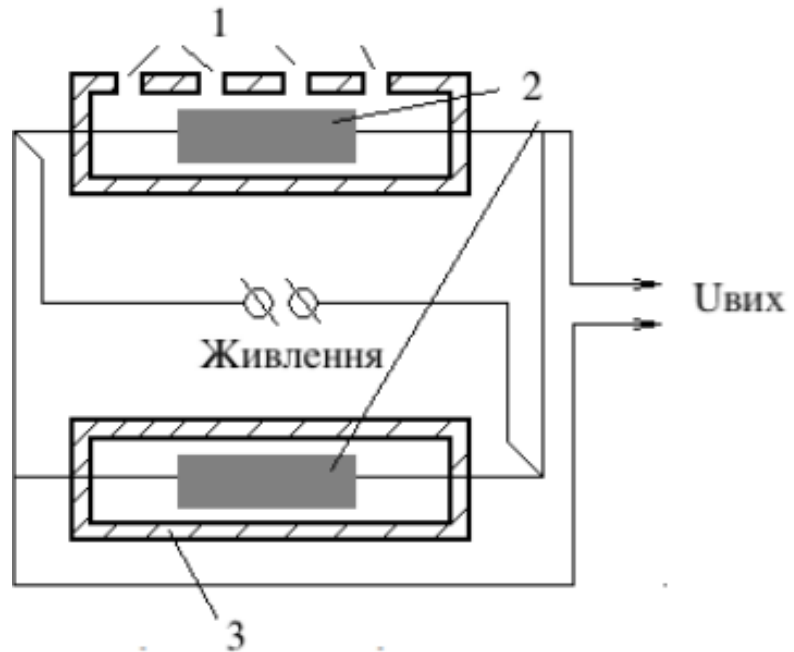


Рисунок 2.4 - Термісторний датчик вологості

На рисунку 2.4 наведено такі позначення: 1 - камера з отвором; 2 - терморезистор; 3 - герметична камера.

Перевагами такого типу датчика є бюджетність і доступність. Недоліки даного типу датчика: похибки та середня швидкість відгуку [9].

Тому при виборі датчика вологості повітря слід звернути увагу на наступні параметри:

- взаємозамінність датчиків;
- здатність забезпечувати стабільні та точні показання протягом тривалого періоду часу;
- відновлення від конденсату;

На ринку представлено безліч моделей датчиків контролю вологості. Серед них можна виділити чотири основних типи обладнання, які відрізняються за показниками, способами роботи та сферами застосування: основний корпус, розмір і вартість обладнання; захист датчиків від фізичного та хімічного забруднення [10].

2.2 Практичне застосування сенсорів вологості

Датчики вологості використовуються практично в усіх сферах життя людини. Нам навіть потрібні кілька таких пристроїв у повсякденному житті. Наприклад, для газону, дитячої та ванної кімнати теплиці потрібні датчики для різних середовищ.

Найпопулярнішим типом датчика є датчик вологості повітря (рис. 2.5). Зазвичай цей тип датчика використовується в поєднанні з датчиком температури. Це вимірювальний прилад, який контролює мікроклімат житлового приміщення. Це особливо важливо для дитячих і спалень. Найбільш комфортною для людини вважається вологість 40-60%. При дуже сухому повітрі з'являється кашель і свербіж, шкіра стає сухою, уражаються слизові оболонки носа та очей, але занадто вологий клімат сприяє розвитку цвілі та грибків. Це негативно вплинуло на картини, книги, меблі і, головне, на здоров'я людини.

Рівень вологості залежить від опалювального обладнання, пори року, вентиляції приміщення тощо. Датчики вологості допоможуть відстежити ці зміни. Датчики актуальні в поєднанні з зволожувачами або вентиляційним обладнанням. Датчики з зволожувачами найкраще підходять для віталень або спалень. Датчик із системою вентиляції підходить для використання у ваннах, саунах або ванних кімнатах.

Сучасні датчики вологості призначені для безперервного перетворення відносної вологості неагресивних газів у два уніфіковані вихідні сигнали 4...20 мА і RS-485, а також комбінований вихідний сигнал (два канали 4...20 мА). і RS -485 (Modbus RTU)). Існує безліч варіантів конструктивно-кліматичного виконання: від офісних до промислових, в тому числі придатних для роботи в складних умовах при високих температурах (до +120°C). Сучасні датчики мають ергономічні корпуси, прості в установці та експлуатації. Також можна замінити зонд датчика та/або фільтр зонда датчика. Датчик має характеристики високої повторюваності ($\pm 0,1\%RH$, $\pm 0,1^\circ C$), високої точності вимірювань, високої стабільності (0,25%RH на рік, $0,02^\circ C$ на рік) і тривалого терміну служби [11].

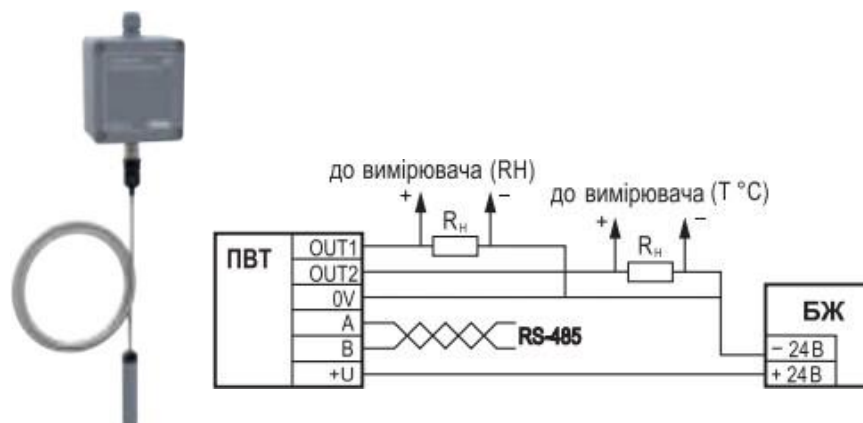


Рисунок 2.5 - Настінний датчик вологості з виносним зондом, та схема підключення датчику вологості та температури

Датчики (сенсори) протікання. До датчиків вологості також входять датчики виявлення повені. Прилад виявить проливу на підлогу вологу. Таке обладнання встановлюється за пральними машинами, під унітазами, ваннами, раковинами, а також на відгалуженнях труб тощо. Принцип роботи дуже простий - при висиханні не реагує, а як тільки намокне, подає сигнал, стрижень електрода закривається, видає запит і сигналізацію про припинення подачі води.

Датчик вологості (рис. 2.6), підключений до автоматичного клапана, не тільки виявляє витік води, але й перекриває подачу води. Це дуже важлива система, якщо ви тривалий час перебуваєте поза квартирою і не маєте до неї прямого доступу. Крім того, покриття датчика також може стежити за людьми похилого віку та дітьми, які залишаються без нагляду протягом тривалого часу. Навіть без уваги вони можуть затопити будинок.

Найчастіше це невеликий датчик, який можна розмістити у важкодоступних місцях під трубами. Як правило, в комплект входять або купуються окремо кілька пристроїв - датчики, блоки управління і запірні арматури. Всі ці компоненти важливі, але датчик сигналізує про можливий витік і повідомляє про це блоку управління, який закриває витік і сигналізує про несправність. Є два типи підключення - дротове і бездротове. Сигнали передаються по радіоканалах і проводним зв'язком. Датчик вчасно реагує, з якого боку утворюється витік. Одного акумулятора вистачає на п'ять років роботи. Корпус датчика повинен бути водонепроникним. Для регулювання або встановлення не потрібно розбирання. Прилад готовий до роботи з самого початку [13].

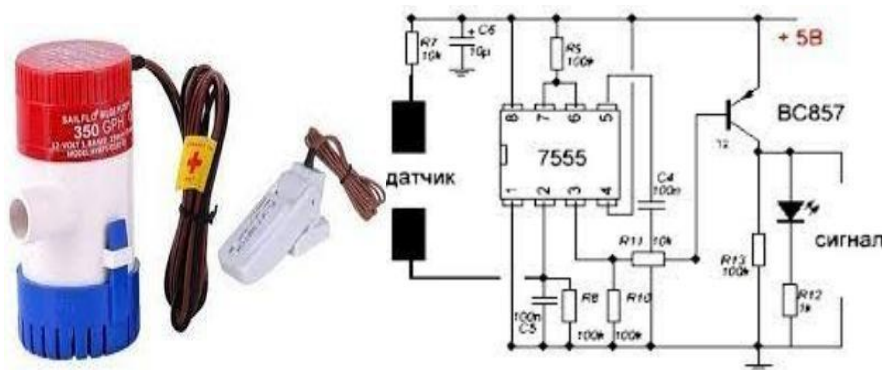


Рисунок 2.6 – Схема підключення датчику протікання

Датчик дощу. До датчиків вологості також відносяться датчики дощу (рис. 2.7). Найчастіше використовується в автомобілях (встановлюється на лобове скло, поверхні салону, пошкоджує дзеркала заднього виду). Прилад складається з фотодіода і світлодіода. Принцип роботи дуже простий: світлодіод випромінює невидиме для людського ока світло, частина якого відбивається від поверхні лобового скла і повертається на фотодіод, який вже реєструє рівень вологості в склі. У програмі пристрою є параметри заломлення світла для мокрих і сухих поверхонь, щоб пристрій міг визначити, коли вмикати склоочисники.

Якщо скло висохне, велика кількість світла повернеться до приймача. Якщо скло брудне або мокре, повертається мало світла, і датчик надсилає сигнал для очищення скла. Пристрій датчика дощу складається з релейного блоку. Блок управління системою являє собою комбінацію фотодіодів і світлодіодів. Блок реле відповідає за управління щітковим механізмом і є виконавчим механізмом в цій системі. Крім того, релейні блоки захищають систему від перешкод і перепадів напруги. Встановіть його там, де зручніше підключити до електромережі. Так в автомобілі під час руху водії можуть регулювати рух склоочисників, не відриваючи очей від дороги, що знижує ризик аварійності та робить водіння більш комфортним за несприятливих погодних умов [15].



Рисунок 2.7 - Датчик дощу (погодний модуль)

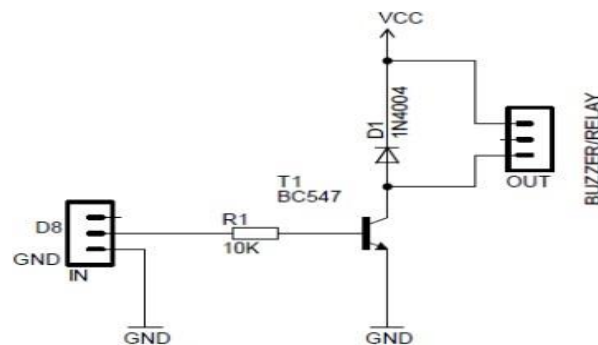


Рисунок 2.8 - Схема підключення датчику дощ

Датчик вологості ґрунту. При проектуванні автоматизованої системи поливу для присадибної ділянки або малого садівничого підприємства важливою складовою є обладнання для моніторингу стану ґрунту та кількості опадів (рис. 2.9). Адже зовсім не обов'язково знову включати насосну станцію для поливу вже вологого ґрунту. Крім того, було б краще мати більш гнучке регулювання інтенсивності зрошення. Датчики вологи призначені для контролю вологості ґрунту та контролю процесу поливу. Такі компоненти істотно спрощують процес поливу,

позбавляючи від необхідності самостійного контролю опадів, їх інтенсивності та кількості.

Цей датчик вологи схожий на зонд із зануреним кінцем у ґрунт. Електроди вимірюють вологість ґрунту. Таким чином прилад знатиме, чи потребує грядка додаткового поливу (горщики з розсадою, газон...). Коли ґрунт висихає, опір між електродами збільшується і датчик включає автоматичний полив. Крім того, датчик відключить спринклерні головки, щоб рослини не загинули від надмірної вологості [4].

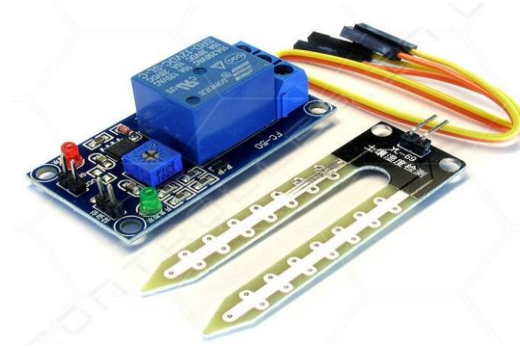


Рисунок 2.9 - Модуль вимірювання ґрунту або різних сипучих матеріалів

Ємність – це здатність конденсатора зберігати електричний заряд. Найпростіший випадок – плоский конденсатор, ємність якого вираховується за формулою:

$$C = \frac{\varepsilon \times \varepsilon_0 \times S}{d}, \quad (2.1)$$

де ε – діелектрична проникність середовища між пластинами;

ε_0 - електрична стала, яка дорівнює $8,854187817 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

S – площа пластин;

d – відстань між пластинами.

Пластини конденсатора несуть однаковий заряд, протилежний за знаком, рівномірно розподілений за площею цих пластин [12]. Лінії електричного поля починаються з пластини, вищої за потенціалом, та закінчуються на той, яка має менший потенціал. Вище наведена формула ігнорує ефект крайової ємності, оскільки моделювання такого процесу надважке. Проте, апроксимоване значення має достатнє наближення у випадках, коли відстань між пластинами є малою у порівнянні з розмірами пластин. В загальному випадку, конденсатор безпосередньо є ємнісним

датчиком, показник ємності якого змінюється в залежності від багатьох факторів. Цей метод використовують для вимірювання малих ємностей [11]. Зазвичай цим методом вимірюються ємності до 0.05 мкФ. Приклад схеми цього методу наведено на рис. 2.10

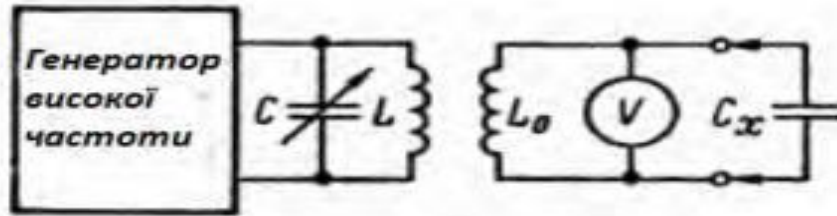


Рисунок 2.10 - Схематичне зображення ємнісного методу

Вимірювана ємність розраховується за наступною формулою (саме цю математичну модель використаємо у розділі 3, як рівняння перетворення вимірювального каналу вологості):

$$C_x = \frac{1}{((2 \times \pi \times f_0)^2 \times L_0)} \approx \frac{0.0253}{f_0^2 \times L_0}, \quad (2.2)$$

де C_x – вимірювана ємність;

f_0 – частота генератора;

L_0 – значення індуктивності опорної котушки.

Вибирайте місце установки, виходячи з важливості рослини. Тобто ті, які найчастіше потребують поливу. Пристрій розміщується безпосередньо в прикореневій зоні, на відстані не більше 300 м від контролера. Щоб система поливу працювала оптимально, налаштування датчиків необхідно проводити безпосередньо в місці їх встановлення. Управління надзвичайно просте і не вимагає спеціальних навичок [4].

Вибір оптимального сенсора вологості є важливим завданням у багатьох технічних застосуваннях через його прямий вплив на точність вимірювань і ефективність роботи системи чи пристрою. Ось кілька причин, чому обрати оптимальний сенсор вологості:

- Оптимальний сенсор має високу точність вимірювань в широкому діапазоні умов, що важливо для точного контролю вологості в різних середовищах.

- Сенсор повинен бути стійким до змін у середовищі та забезпечувати стабільні вимірювання протягом тривалого періоду. Це особливо важливо для довгострокових застосувань.

- Оптимальний сенсор повинен відповідати умовам, в яких він буде експлуатуватися. Наприклад, для деяких застосувань може бути необхідна висока температурна стійкість, стійкість до агресивних середовищ або інші особливості.

- У деяких випадках, таких як системи автоматизації чи контролю процесів, важлива швидкість відгуку сенсора на зміни вологості.

- Якщо сенсор використовується у складі більшої системи, важливо, щоб він був сумісним із іншими компонентами цієї системи.

- Вибір енергоефективного сенсора може бути важливим для пристроїв з обмеженими ресурсами живлення, таких як бездротові сенсорні мережі або портативні пристрої.

Враховуючи ці фактори при виборі сенсора вологості, можна забезпечити оптимальну продуктивність та надійність системи або пристрою в конкретних умовах експлуатації.

2.3 Висновки до розділу

У другій частині магістерської кваліфікаційної роботи на основі аналізу літератури класифіковано основні типи гігрометрів, а саме: ємнісні, резистивні, термісторні, оптичні та електронні. Крім того, у цьому розділі пояснюються основні типи систем контролю вологості (на прикладі сенсорів вологості ґрунту), які використовуються на основі їх принципів дії та точності вимірювань.

3 АПАРАТНА ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВОЛОГОСТІ

3.1 Апаратна реалізація перетворювача вологості

Arduino uno — стандартна плата Arduino, мабуть, найпоширеніша. Він заснований на чіпі Atmel ATmega 328 і має 32 КБ Flash, 2 КБ SRAM і 1 КБ EEPROM. На периферії 14 дискретних (цифрових) каналів вводу/виводу та 6 аналогових каналів вводу/виводу, це дуже універсальні та корисні пристрої, які можуть охопити більшість завдань хобі у світі технології мікроконтролерів. Мікросхема ATmega 16u2 керує послідовним зв'язком. Ця плата контролера (рисунок 3.1) є однією з найдешевших і найбільш часто використовуваних плат контролерів [19].



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд плати ArduinoUNO

Типовий датчик вологості ґрунту складається з двох компонентів. Датчик складається із зонда-завантажувача з двома розімкнутими провідниками, який занурюється в ґрунт або в будь-яке інше місце, де потрібно виміряти вміст води. (рис. 3.2). Він діє як змінний резистор, опір якого змінюється залежно від вологості ґрунту.



Рисунок 3.2 – Зонд датчика вологості ґрунту містить електронний модуль, який з'єднує датчик з Arduino

Відповідно, в залежності від опору датчика, модуль видає вихідну напругу, яка знаходиться на виході аналогового виходу (АО). Цей же сигнал надходить на високоточний компаратор LM393 для оцифровки, а з його виходу сигнал подається на вихід цифрового виходу (ДО) (рис. 3.3) [21]. Для регулювання чутливості цифрового виходу (DO) модуль містить вбудований потенціометр.



Рисунок 3.3 – Регулювання чутливості датчика вологості ґрунту

Для регулювання чутливості цифрового виходу (DO) модуль містить вбудований потенціометр. За допомогою цього потенціометра можна встановити граничне значення, тому, коли рівень вологості перевищує граничне значення, модуль виводить низький логічний рівень, в інших випадках на цифровий вихід буде застосований високий логічний рівень. (рис. 3.4) [21]. Додатково модуль має два світлодіоди. Коли модуль увімкнено, засвітиться індикатор живлення. Коли цифровий вихід має логічний низький рівень, світлодіодний індикатор стану світиться.



Рисунок 3.4 – Світлодіодні індикатори живлення і стану ґрунту

Датчик вологості ґрунту простий у використанні та має 4 порти для зв'язку (рис. 3.5) [21].

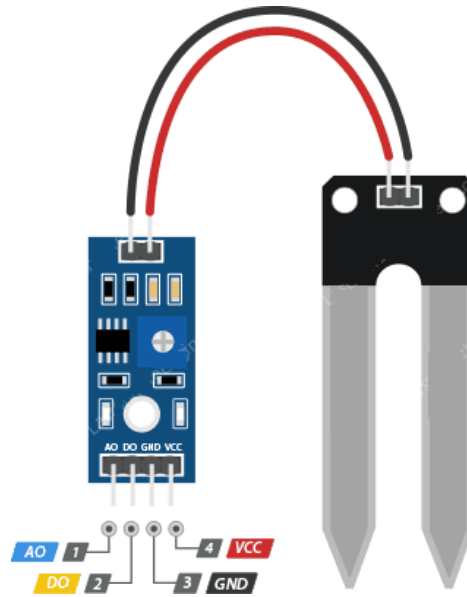


Рисунок 3.5 Терморегулятори датчика вологості ґрунту

АО (аналоговий вихід) виводить аналоговий сигнал з напругою між напругою живлення 0 В і буде підключений до одного з аналогових входів плати Arduino.

Вивід DO (цифровий вихід) забезпечує цифровий вихідний сигнал від вбудованої схеми компаратора. Його можна підключити до будь-якого цифрового контакту на Arduino або безпосередньо до реле 5 В чи подібного пристрою.

Вивід VCC живить датчик. Рекомендується жити датчик напругою від 3,3 до 5 В. Сигнал на аналоговому виході буде залежати від напруги живлення, що подається на датчик. GND використовується для заземлення.

Модуль забезпечує аналогові та цифрові вихідні сигнали, тому для першого експерименту я буду вимірювати вологість ґрунту, зчитуючи аналоговий індикатор [23].

Контакт Спочатку потрібно подати напругу на датчик. Для цього підключіть контакт VCC на модулі до контакту 5 В на Arduino. Однак однією з відомих проблем цих датчиків є короткий термін служби під час впливу вологи. Коли зонд працює безперервно, швидкість корозії значно зростає. Щоб подолати цю проблему, можна не постійно подавати напругу на датчик.

Найпростіший спосіб - підключити контакт VCC до цифрового контакту на Arduino та встановити високий або низький рівень, коли це необхідно. Крім того, загальна потужність, споживана модулем (з обома світлодіодними індикаторами), становить приблизно 8 мА, тому модуль може живитися через цифровий контакт на Arduino.

Вихід VCC модуля підключений до цифрового контакту 7 Arduino, а вихід GND модуля підключений до контакту GND Arduino. Вихід А0 модуля буде підключений до виходу А0 аналого-цифрового перетворювача Arduino[23].

Схема підключення датчика вологості ґрунту до Arduino для зняття показань аналогового виходу показана на малюнку 3.6. Перед початком і початком вимірювання датчик необхідно відкалібрувати відповідно до типу ґрунту.

Підключення входів та виходів Arduino вірно має велике значення для правильної роботи електронних пристроїв, які ви розробляєте за допомогою цього мікроконтролера. Ось кілька причин, чому важливо дотримуватися правильної схеми підключення:

- Неправильне підключення може призвести до пошкоджень самого Arduino, підключених до нього пристроїв або навіть до інших компонентів у вашому проекті. Це може бути особливо важливим у випадку надмірної напруги, короткого замикання або інших електричних небезпек.

- Кожен вхід та вихід на Arduino має певне призначення. Наприклад, якщо ви підключите вхід до джерела напруги, коли очікується сигнал від датчика або іншого пристрою, це може призвести до неправильного функціонування вашого коду.

- Деякі входи Arduino мають можливість вбудованого підтягування (pull-up або pull-down). Неправильне підключення може призвести до конфліктів і змінити логіку роботи цих ввімкнень.

- Якщо ви взаємодієте з іншими електронними пристроями або датчиками, важливо враховувати їх вимоги до вхідного або вихідного сигналу.

Неправильне підключення може призвести до невірної читання або передачі сигналів.

- Arduino може мати додаткові функції, такі як аналогові входи, PWM (широтно-імпульсна модуляція) для керування середньою потужністю, інтєррупти для обробки подій, тощо. Всі ці функції використовуються з врахуванням правильного підключення.

- Якщо ви використовуєте конкретні піни для певних функцій в своєму коді, правильне підключення гарантує, що ваш код буде сумісний з фізичним підключенням.

Загалом, правильне підключення входів та виходів Arduino є ключовим елементом стабільної та надійної роботи вашого електронного пристрою.

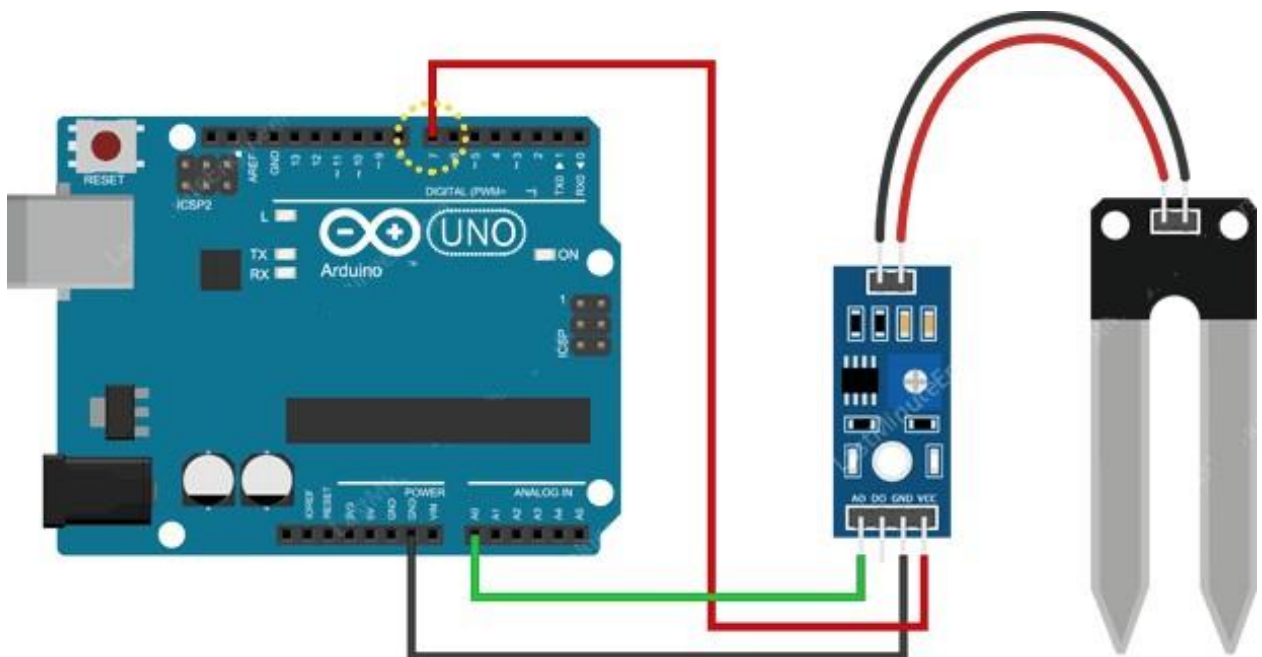


Рисунок 3.6 – Підключення датчика вологості ґрунту до Arduino для зчитування показань на аналоговому виході

3.2 Калібрування перетворювача вологості

Щоб отримати точні показники датчика вологості ґрунту, його необхідно спочатку відкалібрувати для конкретного типу ґрунту. Різні типи ґрунту по-

різному впливатимуть на показання датчика, тому мій датчик може бути більш чи менш чутливим залежно від типу ґрунту.

Перш ніж почати зберігати дані чи ініціювати події, мені потрібно побачити фактичні показники, які я отримую від датчика.

Щоб помітити, яке значення видає датчик, коли ґрунт максимально сухий і повністю насичений водою, потрібно використовувати наведений нижче ескіз [25,26]. При запуску цього ескізу ви можете побачити аналогічні значення на серійному моніторі: ~850, коли ґрунт сухий; ~400, коли ґрунт повністю насичений вологою. Випробування систем контролю вологості ґрунту. На основі значень калібрування програма, наведена нижче, встановлює наступні діапазони для визначення стану ґрунту: <500 – занадто вологий; 500-750 – цільовий діапазон; 750 – достатньо сухий для поливу.

Лістинг програми представлено у додатку В. В цій програмі використовується бібліотека DHT для взаємодії з датчиком вологості (додаток А, рисунок 6-9) та температури. Перевірте, чи у вас встановлена ця бібліотека в Arduino IDE через "Sketch -> Include Library -> Manage Libraries". Не забудьте підключити датчик вологості до вірних пінів на Arduino та додати потрібні опори, які можуть знадобитися для деяких типів датчиків.

3.3 Висновки до розділу

У третій частині магістерської роботи для програмування було обрано офіційне програмне забезпечення ArduinoIDE, за допомогою якого було написано програми та завантажено їх на плату Arduino. Вихідний код IDE випущено під ліцензією GNU GeneralPublicLicense версії 2. Ці фактори були основними факторами при виборі саме цього програмного забезпечення, оскільки воно є більш гнучким і стабільним, що є дуже важливим фактором у розробці систем керування датчиками вологості. Розроблено систему автоматичного керування електричними датчиками вологості, підключеними до платформи Arduino.

4 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ АВТОГЕНЕРАТОРНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

4.1 Постановка математичної задачі

Розроблено математичну модель мікроелектронного автоматичного генератора для вимірювання відносної вологості повітря. Мікроелектронний перетворювач частоти вологості розроблений на основі транзисторної структури негативного диференціального опору з двох біполярних транзисторів і вологочутливого ємнісного елемента. Від'ємний диференціальний опір, утворений ємнісним компонентом на колекторі-колекторі структури біполярного транзистора, і загальним опором, паралельним індуктору, викликає електричні коливання в ланцюзі самогенеруючого перетворювача вологості. Адекватність розробленої математичної моделі продемонстровано за допомогою середовища Maple. Встановлено, що на виході автоматичного генератора існує періодичне коливання, частота якого змінюється зі зміною потужності датчика вологості C_{WW} . Отже, при $\tilde{C}_{WW} = 305$ пФ, частоті $F = 64\,53$ МГц, при $\tilde{C}_{WW} = 354$ пФ, частоті $F = 58\,834$ МГц і напрузі живлення $U = 5$ В.

Для підтвердження теоретичних результатів автоматичний генератор був випробуваний в середовищі моделювання схем LTSpice. Дослідження проводилося при зміні вологочутливої ємності від 305 пФ до 354 пФ, що відповідає збільшенню значень відносної вологості повітря від 20% до 95%. На основі результатів моделювання в середовищі LTSpice було визначено, що зі збільшенням ємності вологочутливого компонента від 305 пФ ($W = 20\%$) до 354 пФ ($W = 95\%$) частота сигналу зменшується з 64,516 МГц. до 58,823 МГц.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень показують, що на виході самогенеруючого приладу для вимірювання відносної вологості повітря спостерігаються періодичні коливання, частота яких зменшується зі збільшенням значень відносної вологості повітря. Отримана теорія добре

узгоджується з експериментальними дослідженнями, а відносна похибка не перевищує 1,5%. Ключові слова: перетворювач частоти вологості, вологочутливий ємнісний елемент, негативний диференціальний опір, періодичні коливання, частота.

Формулювання проблеми. Стан сучасного науково-технічного прогресу значною мірою залежить від успішного вирішення завдань у виробництві та управлінні виробництвом інформаційно-вимірювальних систем, контрольно-вимірювальних приладів, біомедичних приладів, систем визначення якості продукції, а також визначальних автоматичних пристроїв. Екологічні параметри. Ефективність роботи вищевказаного комплексу технічних засобів в основному залежить від якості вимірювального датчика, який є основним чутливим пристроєм інформаційно-вимірювальної системи [1-8]. Датчик вологості є важливим типом перетворювача фізичних величин.

Вимірювання та контроль вологості є одним із поширених напрямків вимірювання фізичних величин. Цей напрямок зумовлений потужним промислово-технологічним потенціалом нашої країни та великою різноманітністю галузей промисловості (наприклад, енергетика, металургія, машинобудування, хімія), ефективність яких значною мірою залежить від чутливості та точності прогнозів. Вимірювання вологості, тиску, температури та інших фізичних величин. Тому досить важливим завданням сучасної автоматизації, контролю та вимірювальної техніки є вибір надійного методу вимірювання вологості для конкретного виробництва та застосування, створення такого методу з необхідною чутливістю та точністю, швидкістю та стабільністю та дослідження впливу неінформативності параметрів на вимірювання. Вплив результатів [11-18]. Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час датчики вологості займають важливе місце в вимірювальній техніці серед різноманітних первинних датчиків. Необхідність контролю вимірювання вологості в промисловості та повсякденному житті робить актуальною проблему розробку та дослідження різних типів датчиків вологості, принцип роботи яких базується на зміні електрофізичних параметрів.

Варто зазначити, що сучасний рівень науки і техніки висуває високі вимоги до методів вимірювання вологості. В основному це пов'язано з необхідністю автоматизації технічних процесів. Крім того, на даний час актуальними питаннями є дослідження, розробка та виробництво засобів вимірювання вологості [1; 4; 5; 6; 7; 8; 10]. Серед різноманітних датчиків вологості практичне значення мають мікроелектронні адсорбційні датчики вологості.

Принцип роботи даного типу датчика заснований на поглинанні вологи з досліджуваного середовища. Використання первинного перетворювача вологості в частотному пристрої для реалізації принципу перетворення «вологість-частота» дозволяє значно підвищити чутливість і точність вимірювання вологості та спростити подальші можливості обробки інформації. У цьому випадку необхідно використовувати датчик вологості у вигляді конденсатора, який є оптимальним за набором параметрів, тобто забезпечує широкий діапазон вимірювань, високу надійність і низьку вартість за допомогою технології мікроелектроніки. Завдяки мініатюрним розмірам чутливих компонентів ми маємо [10, 17, 18, 19, 20]. Тим не менш, ємнісний метод є одним із найкращих методів вимірювання вологості. поставити мету.

Мета – розробка та дослідження математичної моделі мікроелектронного самогенерованого пристрою для вимірювання відносної вологості повітря на основі транзисторної структури з негативним диференціальним опором, а його вологочутливим елементом є ємнісний елемент. Для досягнення поставлених цілей у роботі необхідно було вирішити наступні завдання: 1) Проаналізувати наявні наукові джерела та продемонструвати переваги використання реакційних властивостей напівпровідникових структур з негативним диференціальним опором 2) Розрахувати електричні властивості мікроелектронний самогенеруючий пристрій для вимірювання відносної вологості повітря Характеристики, що враховують залежність реакційних властивостей напівпровідникових структур з негативним диференціальним опором від впливу відносної вологості навколишнього середовища 3) Висновки з проведених досліджень. Теоретичні та експериментальні дослідження.

Метою даної роботи є розробка мікроелектронного самогенеруючого пристрою для вимірювання відносної вологості повітря з використанням вологочутливого ємнісного елемента НСН-1000.

4.2 Розробка електричної схеми автогенераторного перетворювача вологості

На рис. 4.1 представлена електрична схема мікроелектронного автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря.

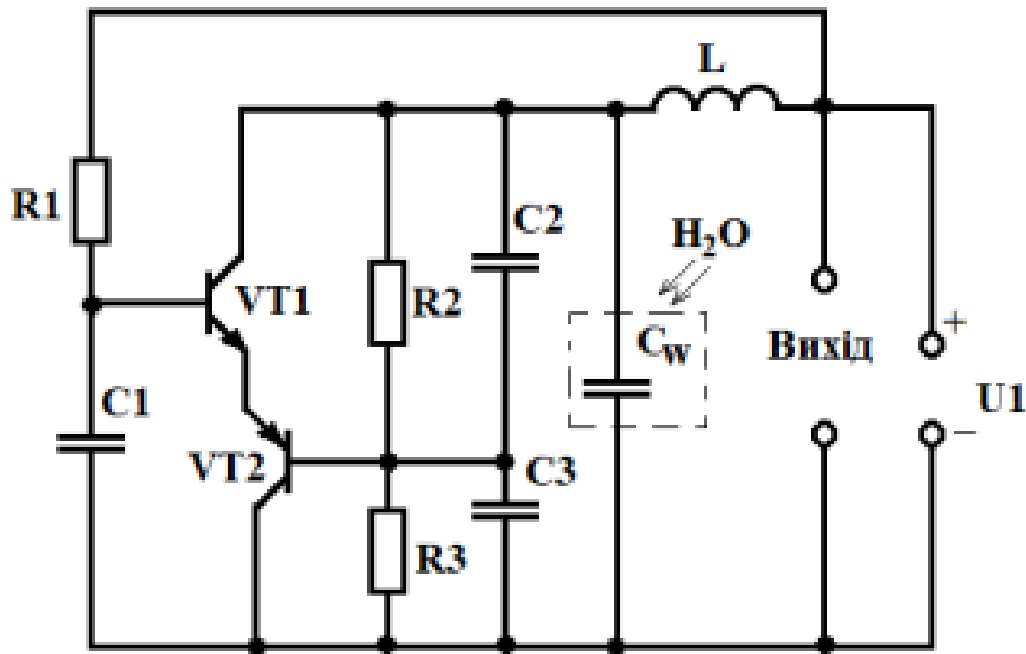


Рисунок 4.1 – Електрична схема мікроелектронного автогенераторного засобу для вимірювання вологості

Розроблено мікроелектронний автоматичний генератор для вимірювання відносної вологості повітря з використанням вологочутливих ємнісних елементів на основі транзисторної структури негативного диференціального опору двох біполярних транзисторів VT1 і VT2. Такий режим роботи має місце, коли загальний опір на колекторі-колекторі біполярних транзисторів VT1 і VT2

підключений паралельно ємнісній складовій для формування негативного диференціального опору за допомогою джерела постійної напруги. і індуктивність L , викликаючи електричні коливання в колі. Резистори R_2 і R_3 утворюють дільник напруги для забезпечення живлення постійного струму в ланцюзі. Резистор R_1 і конденсатор C_1 діють як схема зсуву фаз для забезпечення балансу фаз в автоматичному перетворювачі генератора. Вологочутливий конденсатор C_W включений паралельно загальному опору колекторно-колекторним ємнісним елементом біполярних транзисторів VT_1 і VT_2 .

При впливі вологи на вологочутливий конденсатор C_W змінюється ємнісна складова повного опору на електродах транзисторної структури на основі біполярних транзисторів VT_1 і VT_2 , викликаючи ефективну зміну частоти коливального контуру. Для проведення експериментальних досліджень була зібрана схема перетворювача вологості мікроелектронного автоматичного генератора з вологочутливими ємнісними елементами на основі ХСН-1000 (рис. 4.1) на біполярних транзисторах BFP450 і BFT92.

Режим постійного струму біполярних транзисторів VT_1 і VT_2 такий: сила струму в ланцюзі колектора транзистора VT_1 4,25 мА, напруга на колекторі 5В. Дослідження по визначенню електричних характеристик з урахуванням реакційних характеристик транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором в залежності від відносної вологості навколишнього середовища, еквівалентної схеми самогенеруючого приладу для вимірювання відносної вологості повітря з був розроблений вологочутливий ємнісний елемент ХСН-1000 (рис. 4.2).

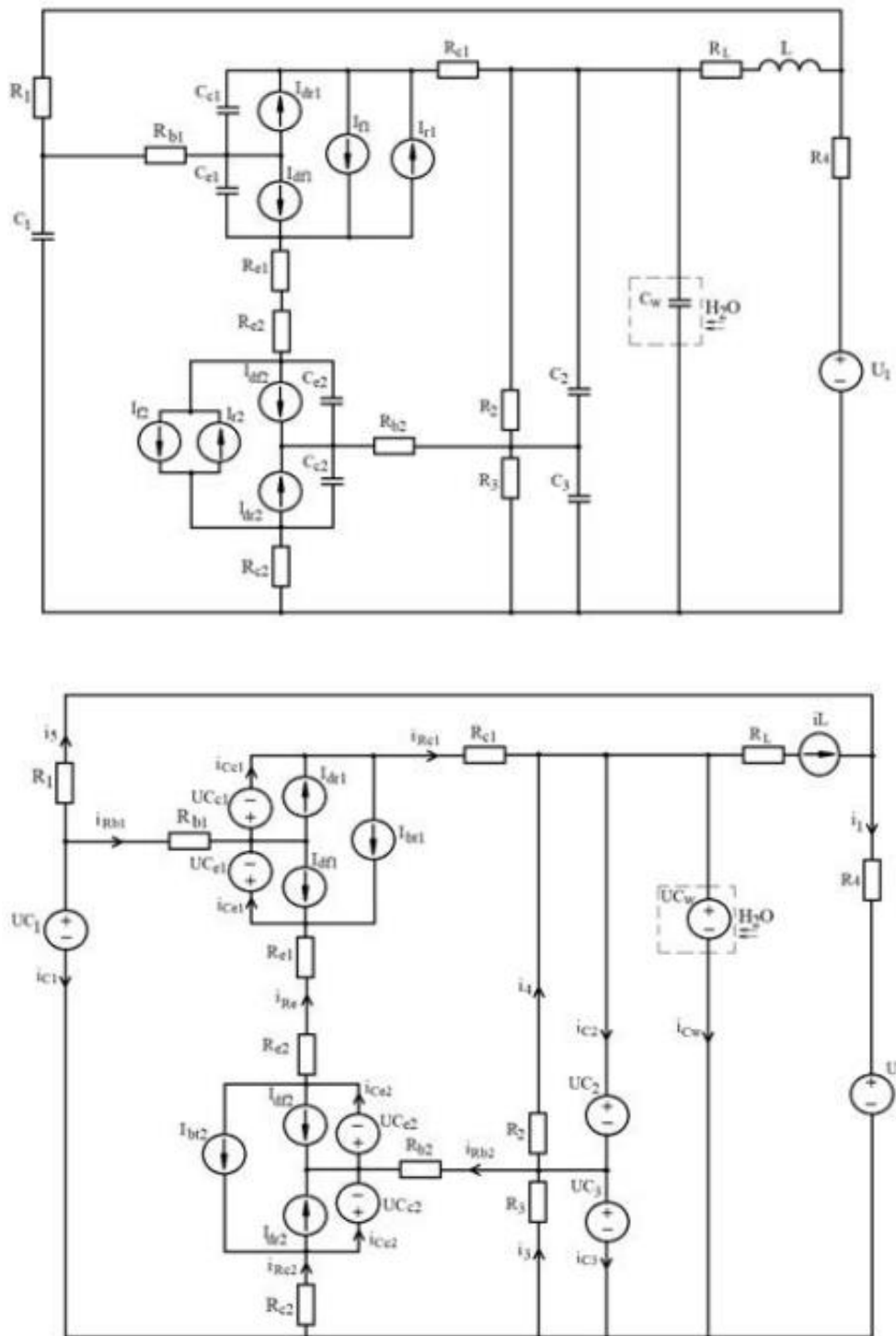


Рисунок 4.3 – Перетворена еквівалентна схема автогенераторного засобу для вимірювання вологості з вологочутливим ємнісним елементом НСН-1000

4.3 Перевірка адекватності розробленої математичної моделі. Експериментальні дослідження.

З технічної точки зору перевірка адекватності математичної моделі є важливою з кількох причин:

- Технічні системи, як правило, базуються на математичних моделях для прогнозування їхньої роботи та оптимізації в різних сценаріях. Якщо математична модель не є адекватною, результати можуть бути неточними, що може призвести до неефективних рішень у проектуванні і управлінні технічними системами.

- У технічних застосуваннях, де використовуються математичні моделі для керування, прогнозування або діагностики, надійність моделі є ключовою. Неадекватність може призвести до неправильних діагнозів, невірному керуванню або неочікуваних проблем в експлуатації.

- Технічні системи часто оптимізуються з використанням математичних моделей для досягнення найкращої продуктивності або використання ресурсів. Якщо модель не адекватна, оптимізація може бути неефективною, і система не зможе досягти максимального результату за доступних умов.

- В технічних галузях важливо передбачити та управляти ризиками. Математичні моделі використовуються для аналізу ризиків і розробки стратегій управління ними. Якщо модель не адекватна, аналіз ризиків може бути неповний або недостовірний.

- В процесі інженерії і проектування структур, пристроїв та систем використовуються математичні моделі для передбачення їхньої поведінки та взаємодії. Адекватність моделі дозволяє точно врахувати всі фактори, що впливають на проект.

Усе це підкреслює важливість того, щоб математичні моделі в технічних застосуваннях були адекватними для конкретного використання, щоб забезпечити ефективні рішення, надійність та оптимальне використання ресурсів.

Для перевірки адекватності розробленої моделі [1-10] була написана програма розрахунку параметрів схеми в середовищі Maple. Розрахунки показують, що вихід автоматичного генератора, який вимірює відносну вологість повітря, дійсно буде періодично коливатися (рис. 4.4), а його частота буде відповідати датчику вологості $C_w (W)$. Отже, при $\tilde{N} WW = 305$ пФ, частоті $F = 64,530$ МГц, при $\tilde{N} WW = 354$ пФ, частоті $F = 58,834$ МГц, напрузі живлення $U = 5В$. З метою підтвердження теоретичних результатів та проведення експериментальних досліджень у середовищі моделювання схеми LTSpice досліджено схему пристрою автоматичного генератора з використанням вологочутливих ємнісних елементів для вимірювання вологості (рис. 4.1). Дослідження проводили при варіації вологочутливої ємності від $\tilde{N} WW = 305$ пФ до $\tilde{N} WW = 354$ пФ, що відповідає збільшенню значень відносної вологості повітря від 20% до 95%. Виходячи з результатів моделювання в середовищі LTSpice, легко побачити, що гармонічна напруга діє на конденсатор $C5$ (рис. 4.6). Розрахувавши частоту напруги конденсатора датчика вологості, можна побачити, що зі збільшенням ємності елемента датчика вологості від 305 пФ ($W = 20\%$) до 354 пФ ($W = 95\%$) частота сигналу зменшується з 64,516 МГц до 58,823 МГц. Так, як показано на рис. На рис. 6 показана експериментальна залежність напруги на вологочутливому конденсаторі від часу при відносній вологості повітря $W = 20\%$ і частоті вихідного сигналу $F = 64,516$ МГц. На рис. 4.6 показана залежність від часу напруги вологочутливого конденсатора при відносній вологості повітря $W = 95\%$, що відповідає значенню вологочутливого конденсатора $WW = 354$ пФ і сигналу вихідної частоти $F = 58,823$ МГц.

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень неважко побачити, що вихід мікроелектронного автоматичного генератора, який використовується для вимірювання вологості повітря, дійсно буде відчувати періодичні коливання, а їх частота зменшуватиметься зі збільшенням значення відносної вологості повітря. Порівнявши теоретичне значення та експериментальне значення отриманої частоти вихідного сигналу, визначили, що відносна похибка не перевищує 1,5%.

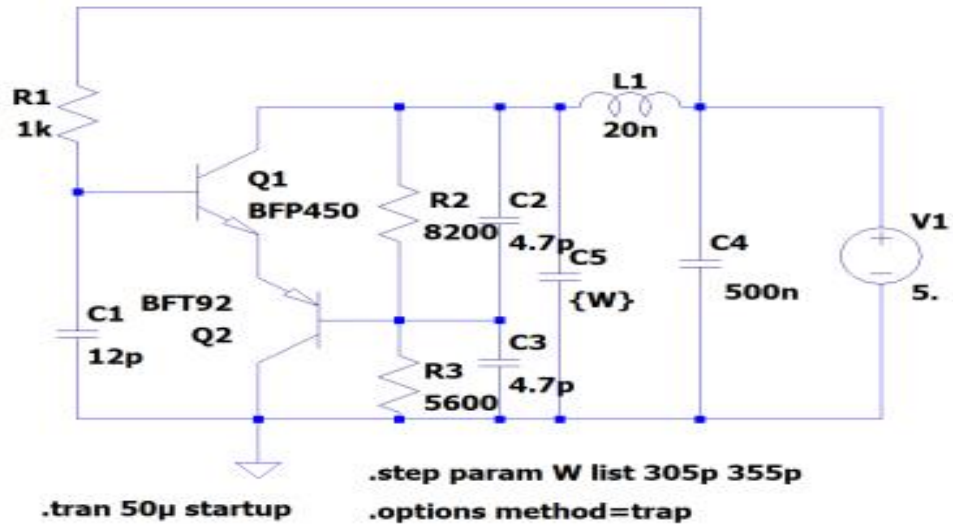


Рисунок 4.4 – Електрична схема мікроелектронного автогенераторного засобу

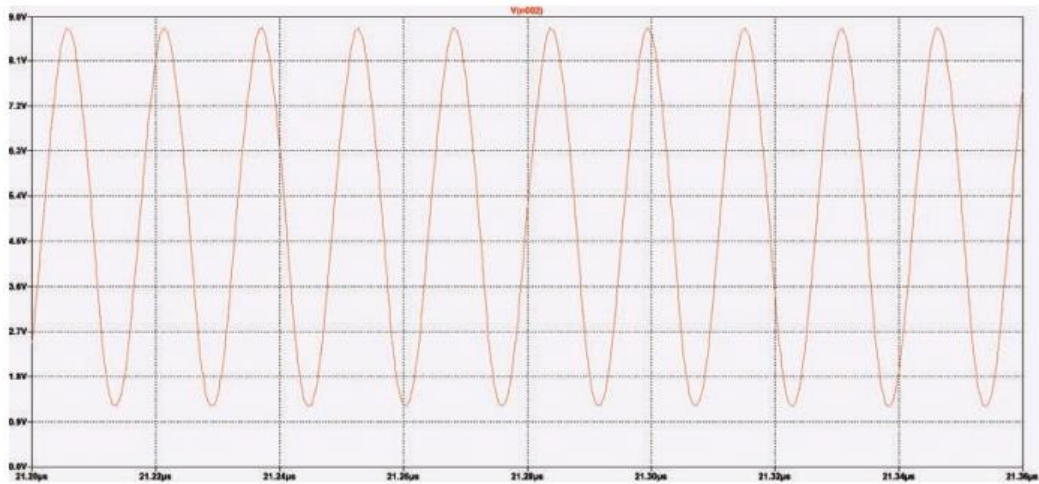


Рисунок 4.5 - Експериментальна залежність напруги вологочутливої ємності від часу за відносної вологості повітря $W = 20\%$

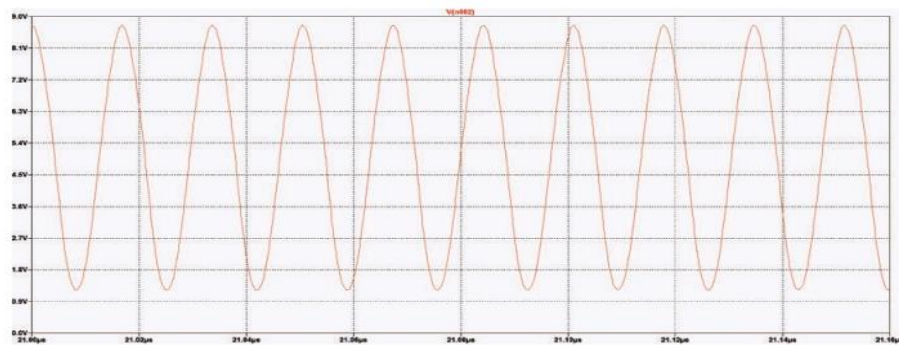


Рисунок 4.6 – Експериментальна залежність напруги вологочутливого конденсатора від часу при відносній вологості повітря $W = 95\%$

4.4 Аналіз та оцінення похибок вимірювань

Для розробленого перетворювача вологості врахуємо такі складові загальної похибки: інструментальна та методична складова. Для повного метрологічного аналізу оцінимо кожну з них.

Інструментальна похибка виникає у вимірювальних каналах (вологості) за місцем їх виникнення. Основними складовими інструментальної похибки в розробленому засобі контролю, є:

- похибка АЦП $\Delta_{АЦП}$. Головною складовою похибки АЦП є похибка квантування, іншими похибками, у порівнянні з нею, можна знехтувати. Отже, загальна інструментальна похибка буде мати вигляд:

$$\bar{\Delta} = \sqrt{\Delta_{АЦП}^2} \quad (4.1)$$

Підставивши орієнтовні значення похибок, які взяті із DataSheet структурних блоків засобу контролю та розрахунків, отримаємо значення оцінки інструментальної похибки на рівні 0,1%.

Методичні похибки виникають через недосконалість методу вимірювання (не залежать від якості виготовлення перетворювача вологості) та наближень, що допускаються при проектуванні. Основною складовою методичної похибки є використання відносного методу вимірювання. До основних методичних похибок віднесемо:

- похибка $\Delta_{\text{Фун. перет.}}$ вимірювального перетворення математичної моделі (2.2). В робочому діапазоні максимальне відхилення складає 0.3%.

- похибка адитивності $\Delta_{\text{адит.}}$. Ця загальна похибка містить в собі похибку вибору діапазону вимірювання.

- похибка вимірювального перетворення $\bar{\Delta}_{\text{е.л.}}^2$. Визначає розбіжність теоретичної та експериментальної моделі (є на рівні 0.27%)

Таким чином, загальна методична похибка:

$$\bar{\Delta} = \sqrt{\Delta_{перет.}^2_{Фун.} + \Delta_{ефект.}^2_{Адит.} + \Delta_{перетр.}^2_{Вимір.}} \quad (4.2)$$

Підставивши відповідні значення похибок, отримаємо значення методичної похибки – 0,9 %.

$$\bar{\Delta}_{заг.} = \bar{\Delta}_{інструм.} + \bar{\Delta}_{метод.} \quad (4.3)$$

Загальна похибка вимірювань дорівнює сумі інструментальних і методичних похибок і складає 1 %.

4.4 Висновки до розділу

У четвертому розділі магістерської роботи створено математичну модель мікроелектронного самогенеруючого пристрою, що використовує вологочутливий ємнісний елемент НСН-1000 для вимірювання відносної вологості повітря. Адекватність розробленої математичної моделі продемонстровано за допомогою середовища Maple. Визначено, що на виході автоматичного генератора існує схема моделювання LTSpice. Дослідження проводилося при зміні вологочутливої ємності від 305 пФ до 354 пФ, що відповідає збільшенню значень відносної вологості повітря від 20% до 95%. На основі результатів моделювання в середовищі LTSpice було визначено, що зі збільшенням ємності вологочутливого компонента від 305 пФ ($W = 20\%$) до 354 пФ ($W = 95\%$) частота сигналу зменшується з 64,516 МГц. до 58,823 МГц.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень показують, що на виході самогенеруючого приладу для вимірювання відносної вологості повітря спостерігаються періодичні коливання, частота яких зменшується зі збільшенням значень відносної вологості повітря. Отримана теорія добре узгоджується з експериментальними дослідженнями, а відносна похибка не перевищує 1 %.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

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

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

Для наведеного випадку нами мають бути виконані такі етапи робіт:

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

5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Автогенераторний перетворювач вологості» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 5.1 [34].

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

| Бали (за 5-ти бальною шкалою) | | | | | |
|----------------------------------|--|--|---|--|--|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Технічна здійсненність концепції | | | | | |
| 1 | Достовірність концепції не підтверджена | Концепція підтверджена експертними висновками | Концепція підтверджена розрахунками | Концепція перевірена на практиці | Перевірено працездатність продукту в реальних умовах |
| Ринкові переваги (недоліки) | | | | | |
| 2 | Багато аналогів на малому ринку | Мало аналогів на малому ринку | Кілька аналогів на великому ринку | Один аналог на великому ринку | Продукт не має аналогів на великому ринку |
| 3 | Ціна продукту значно вища за ціни аналогів | Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів | Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів | Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів | Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів |
| 4 | Технічні та споживчі властивості продукту значно | Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж | Технічні та споживчі властивості продукту на рівні | Технічні та споживчі властивості продукту трохи | Технічні та споживчі властивості продукту значно |
| 5 | Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів | Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів | Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів | Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів | Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів |

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

| Ринкові перспективи | | | | | |
|-------------------------|--|--|---|---|---|
| 6 | Ринок малий і не має позитивної динаміки | Ринок малий, але має позитивну динаміку | Середній ринок з позитивною динамікою | Великий стабільний ринок | Великий ринок з позитивною динамікою |
| 7 | Активна конкуренція великих компаній на | Активна конкуренція | Помірна конкуренція | Незначна конкуренція | Конкуренція немає |
| Практична здійсненність | | | | | |
| 8 | Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї | Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців | Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату | Необхідне незначне навчання фахівців | Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї |
| 9 | Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні | Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні | Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є | Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є | Не потребує додаткового фінансування |
| 10 | Необхідна розробка нових матеріалів | Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому | Потрібні дорогі матеріали | Потрібні досяжні та дешеві матеріали | Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві |
| 11 | Термін реалізації ідеї більший за 10 років | Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти | Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років | Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років | Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років |
| 12 | Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію | Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу | Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу | Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту | Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту |

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

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

| Критерії | Експерт (ПІБ, посада) | | |
|---|-----------------------|----|----|
| | 1 | 2 | 3 |
| | Бали: | | |
| 1. Технічна здійсненність концепції | 4 | 3 | 4 |
| 2. Ринкові переваги (наявність аналогів) | 3 | 3 | 2 |
| 3. Ринкові переваги (ціна продукту) | 3 | 3 | 3 |
| 4. Ринкові переваги (технічні властивості) | 3 | 3 | 2 |
| 5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати) | 2 | 2 | 2 |
| 6. Ринкові перспективи (розмір ринку) | 2 | 2 | 2 |
| 7. Ринкові перспективи (конкуренція) | 2 | 2 | 2 |
| 8. Практична здійсненність (наявність фахівців) | 4 | 4 | 4 |
| 9. Практична здійсненність (наявність фінансів) | 2 | 3 | 2 |
| 10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів) | 2 | 2 | 2 |
| 11. Практична здійсненність (термін реалізації) | 3 | 4 | 4 |
| 12. Практична здійсненність (розробка документів) | 4 | 4 | 4 |
| Сума балів | 34 | 35 | 33 |
| Середньоарифметична сума балів $СБ_c$ | 34,0 | | |

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 5.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 5.3 [33].

Таблиця 5.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

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

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Автогенераторний перетворювач вологості» становить 34,0 бала, що, відповідно до таблиці 4.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

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

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розраховуємо за формулою [33]

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

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

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

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

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

Відносні значення β_i для різних випадків розраховуємо за такими формулами:

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

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

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

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

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

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

Таблиця 5.4 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога.

| Показники (параметри) | Одиниця вимірювання | Аналог | Проектований пристрій | Відношення параметрів нової розробки до аналога | Питома вага показника |
|--------------------------------------|------------------------|-----------------|--------------------------|---|--------------------------|
| Діапазон вимірювань | Гц | 10,00- 5000 | 0,06-10000 | 2,5 | 0,25 |
| Похибка | % | 2 | 1 | 2 | 0,3 |
| Чутливість | Без. Роз.одиниця | 50 | 70 | 1,4 | 0,15 |
| Вага | кг | 1 | 0,5 | 2 | 0,2 |
| Діапазон вимірювання вологості | % | Від 10 до 90 | Від 0 до 100 | 1,25 | 0,1 |

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення складе:

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 2,5 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,3 + 1,4 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,2 + 1,25 \cdot 0,1 = 1,96.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,96 рази.

5.2 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Автогенераторний перетворювач вологості», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

5.2.1 Витрати на оплату праці

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

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [34].

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

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

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

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=21$ дні.

$$Z_o = 16570,00 \cdot 21 / 21 = 16570,00 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

| Найменування посади | Місячний посадовий оклад, грн | Оплата за робочий день, грн | Число днів роботи | Витрати на заробітну плату, грн |
|--|-------------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------------|
| Керівник проекту | 16570,00 | 789,05 | 21 | 16570,00 |
| Інженер-конструктор контрольно-вимірювальної та радіоелектронної апаратури | 15980,00 | 760,95 | 21 | 15980,00 |
| Лаборант | 6800,00 | 323,81 | 7 | 2266,67 |
| Всього | | | | 34816,67 |

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Автогенераторний перетворювач вологості» розраховуємо за формулою

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

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

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

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою

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

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=6700,00$ (грн.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [33];

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

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 21$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 6700,00 \cdot 1,10 \cdot 1,35 / (21 \cdot 8) = 59,22 \text{ (грн.)}$$

$$З_{pl} = 59,22 \cdot 5,40 = 319,81 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 5.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

| Найменування робіт | Тривалість роботи, год | Розряд роботи | Тарифний коефіцієнт | Погодинна тарифна ставка, грн | Величина оплати на робітника грн |
|--------------------------------------|------------------------|---------------|---------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Розміщення обладнання | 5,40 | 2 | 1,10 | 59,22 | 319,81 |
| Контроль компонентів РЕА | 0,50 | 5 | 1,70 | 91,53 | 45,76 |
| Монтаж обладнання | 6,00 | 3 | 1,35 | 72,68 | 436,10 |
| Монтаж досліджуваних блоків | 4,20 | 5 | 1,70 | 91,53 | 384,41 |
| Налаштування системи | 1,50 | 3 | 1,35 | 72,68 | 109,02 |
| Підготовка робочих місць проєктантів | 6,00 | 2 | 1,10 | 59,22 | 355,34 |
| Всього | | | | | 1650,44 |

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

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

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

де $H_{\text{доод}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 11%.

$$Z_{\text{доод}} = (34816,67 + 1650,44) \cdot 11 / 100\% = 4011,38 \text{ (грн.)}.$$

5.2.2 Відрахування на соціальні заходи

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

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

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (34816,67 + 1650,44 + 4011,38) \cdot 22 / 100\% = 8905,27 \text{ (грн.)}.$$

5.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Автогенераторний перетворювач вологості».

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

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

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

n – кількість видів матеріалів;

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

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

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

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

$$M_1 = 4 \cdot 197,00 \cdot 1,05 - 0 \cdot 0 = 827,40 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на матеріали

| Найменування матеріалу, марка, тип, сорт | Ціна за 1 кг, грн | Норма витрат, кг | Величина відходів, кг | Ціна відходів, грн/кг | Вартість витраченого матеріалу, грн |
|---|-------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| Папір канцелярський офісний | 197,00 | 4 | 0 | 0 | 827,40 |
| Компакт-диски (CD) | 26,00 | 4 | 0 | 0 | 109,20 |
| Офісна тека FIX-120 | 95,00 | 3 | 0 | 0 | 299,25 |
| Канцелярські товари (ручки, файли, бокси) | 185,00 | 3 | 0 | 0 | 582,75 |
| Тонер для принтера | 152,00 | 1 | 0 | 0 | 159,60 |
| Плата друкована | 140,00 | 1 | 0 | 0 | 147,00 |
| Всього | | | | | 2125,20 |

5.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_e), які використовують при проведенні НДР на тему «Автогенераторний перетворювач вологості», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

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

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

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

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

$$K_e = 1 \cdot 120,00 \cdot 1,05 = 126,00 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.8

Таблиця 5.8 – Витрати на комплектуючі

| Найменування комплектуючих | Кількість, шт. | Ціна за штуку, грн | Сума, грн |
|-------------------------------|----------------|--------------------|-----------|
| PIC18F4550 | 1 | 120,00 | 126,00 |
| Генератор кварцевий | 1 | 85,00 | 89,25 |
| Блок живлення | 1 | 216,00 | 226,80 |
| Дисплей LCD WH1602C-YGH-СТК | 1 | 182,00 | 191,10 |
| Система термостабілізації | 1 | 108,00 | 113,40 |
| Сенсор вологості | 1 | 85,00 | 89,25 |
| Аналого-цифровий перетворювач | 1 | 560,00 | 588,00 |
| Всього | | | 1423,80 |

5.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

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

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

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

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

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

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

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 31399,00 \cdot 1 \cdot 1,04 = 32654,96 \text{ (грн.)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

| Найменування устаткування | Кількість, шт | Ціна за одиницю, грн | Вартість, грн |
|--|---------------|-------------------------|---------------|
| Серверне обладнання бази даних (BigDATA) | 1 | 31399,00 | 32654,96 |
| Метрологічний комплекс МКВТ-1246 | 1 | 18560,00 | 19302,40 |
| Всього | | | 51957,36 |

5.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

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

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

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

де C_{inpg} – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

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

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

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{npg} = 5420,00 \cdot 1 \cdot 1,01 = 5474,20 \text{ (грн.)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

| Найменування програмного засобу | Кількість, шт | Ціна за одиницю, грн | Вартість, грн |
|--|---------------|----------------------|---------------|
| Програмний пакет WinPLC7 | 1 | 5420,00 | 5474,20 |
| Середовище математичного інженерного моделювання Matchcad 15 | 1 | 7264,00 | 7336,64 |
| Всього | | | 12810,84 |

5.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

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

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

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

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

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

$$A_{обл} = (52499,00 \cdot 1) / (3 \cdot 12) = 1458,31 \text{ (грн)..}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

| Найменування обладнання | Балансова вартість, грн | Строк корисного використання, років | Термін використання обладнання, місяців | Амортизаційні відрахування, грн |
|--|-------------------------|-------------------------------------|---|---------------------------------|
| Персональний комп'ютер системи обчислення даних | 52499,00 | 3 | 1 | 1458,31 |
| Персональний комп'ютер інженера-розробника електронних компонент | 22360,00 | 3 | 1 | 621,11 |
| Оргтехніка | 8150,00 | 3 | 1 | 226,39 |

Продовження таблиці 5.11 - Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

| | | | | |
|--|-----------|----|---|---------|
| Приміщення дослідної лабораторії | 396000,00 | 30 | 1 | 1100,00 |
| ОС Windows 10 | 6510,00 | 3 | 1 | 180,83 |
| Прикладний пакет Microsoft Office 2016 | 6500,00 | 3 | 1 | 180,56 |
| Паяльна станція ВАКУ 12AF | 6850,00 | 5 | 1 | 114,17 |
| Принтер HP 1560 laserJet | 7210,00 | 5 | 1 | 120,17 |
| Всього | | | | 4001,53 |

5.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

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

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

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 7,50$ грн;

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

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

$$B_e = 0,10 \cdot 2,5 \cdot 7,50 \cdot 0,95 / 0,97 = 1,88 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 – Витрати на електроенергію

| Найменування обладнання | Встановлена потужність, кВт | Тривалість роботи, год | Сума, грн |
|--|-----------------------------|------------------------|-----------|
| Паяльна станція ВАКУ 12AF | 0,10 | 2,5 | 1,88 |
| Принтер HP 1560 laserJet | 0,26 | 2,0 | 3,90 |
| Персональний комп'ютер розробника | 0,40 | 120,0 | 360,00 |
| Персональний комп'ютер інженера-розробника електронних компонент | 0,25 | 120,0 | 225,00 |
| Оргтехніка | 0,40 | 2,0 | 6,00 |
| Серверне обладнання бази даних (BigDATA) | 0,36 | 120,0 | 324,00 |
| Метрологічний комплекс МКВТ-1246 | 0,25 | 50,0 | 93,75 |
| Всього | | | 1014,53 |

5.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Автогенераторний перетворювач вологості» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

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

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (4.15)$$

де H_{cv} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo $H_{cv} = 20\%$.

$$B_{cv} = (34816,67 + 1650,44) \cdot 20 / 100\% = 7293,42 \text{ (грн.)}$$

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

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

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

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo $H_{cn} = 30\%$.

$$B_{cn} = (34816,67 + 1650,44) \cdot 30 / 100\% = 10940,13 \text{ (грн.)}$$

5.2.11 Інші витрати

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

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

$$I_{\epsilon} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{i\epsilon}}{100\%}, \quad (5.17)$$

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

$$I_{\epsilon} = (34816,67 + 1650,44) \cdot 50 / 100\% = 18233,55 \text{ (грн.)}.$$

5.2.12 Накладні (загально-виробничі) витрати

До статті «Накладні (загально-виробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

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

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.18)$$

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

$$B_{нзв} = (34816,67 + 1650,44) \cdot 105 / 100\% = 38290,47 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Автогенераторний перетворювач вологості» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{одд} + Z_n + M + K_{\epsilon} + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_{\epsilon} + B_{нзв}. \quad (5.19)$$

$$B_{\text{заг}} = 34816,67 + 1650,44 + 4011,38 + 8905,27 + 2125,20 + 1423,80 + 51957,36 + 12810,84 + 4001,53 + 1014,53 + 7293,42 + 10940,13 + 18233,55 + 38290,47 = 197474,59 \text{ (грн.)}$$

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

$$ZB = \frac{B_{\text{заг}}}{\eta}, \quad (5.20)$$

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

$$ZB = 197474,59 / 0,95 = 207867,99 \text{ (грн.)}$$

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

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

Результати дослідження проведені за темою «Автогенераторний перетворювач вологості» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

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

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

| Показник | 1-й рік | 2-й рік | 3-й рік | 4-й рік |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Збільшення кількості споживачів, осіб | 800 | 1000 | 1500 | 900 |

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 15000 осіб;

C_o – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 1200,00 (грн.);

$\pm\Delta C_o$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 252,00 (грн.).

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta\Pi_i$ для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою [33]

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\mathcal{G}}{100}\right), \quad (5.21)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2023 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).
Прийmemo $\rho = 35\%$;

\mathcal{G} – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2023 році $\mathcal{G} = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (252,00 \cdot 15000,00 + 1452,00 \cdot 800) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1177138,54 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (252,00 \cdot 15000,00 + 1452,00 \cdot 1800) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1523019,46 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (252,00 \cdot 15000,00 + 1452,00 \cdot 3300) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 2041840,84 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (252,00 \cdot 15000,00 + 1452,00 \cdot 4200) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 2353133,66 \text{ (грн.)}$$

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

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^i}, \quad (5.22)$$

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

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

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,14$;

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

$$\begin{aligned} III &= 1177138,54/(1+0,14)^1 + 1523019,46/(1+0,14)^2 + 2041840,84/(1+0,14)^3 + \\ &+ 2353133,66/(1+0,14)^4 = 1032577,66 + 1171914,02 + 1378184,40 + 1393244,03 = \\ &= 4975920,12 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

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

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (5.23)$$

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

$3B$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 207867,99 (грн.).

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 207867,99 = 415735,98 \text{ (грн.)}.$$

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

$$E_{абс} = III - PV \quad (5.24)$$

де III – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 4975920,12 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 415735,98 (грн.).

$$E_{абс} = III - PV = 4975920,12 - 415735,98 = 4560184,14 \text{ (грн.)}$$

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

$$E_g = T_{жс} \sqrt[4]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (5.25)$$

де E_{abc} – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 4560184,14 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 415735,98 (грн.);

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

$$E_g = T_{жс} \sqrt[4]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 = (1 + 4560184,14/415735,98)^{1/4} - 1 = 0,86.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій τ_{min}

$$\tau_{min} = d + f, \quad (5.26)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2023 році в Україні $d = 0,09$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, прийmemo 0,2.

$\tau_{min} = 0,09 + 0,2 = 0,29 < 0,86$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у

впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Автогенераторний перетворювач вологості» доцільно.

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

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (5.27)$$

де E_g – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 0,86 = 1,16 \text{ р.}$$

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

5.4 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Автогенераторний перетворювач вологості» становить 34,0 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,96 рази.

Також термін окупності становить 1,16 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Автогенераторний перетворювач вологості».

ВИСНОВКИ

У роботі досягнута мета магістерської кваліфікаційної роботи, а саме розробка автогенераторного перетворювача (вимірювального) вологості. Об'єктом дослідження є значання вологості об'єктів вимірювання. Предметом дослідження є методи та засоби вимірювання та контролю вологості. Наступні розділи магістерської кваліфікаційної роботи будуть присвячені досягненню мети роботи.

На основі аналізу літературних даних була проведена класифікація основних видів гігрометрів, а саме: ємнісні, резистивні, термисторні, оптичні і електронні. Також у розділі з'ясовано, які використовуються основні види систем контролю вологості ґрунту за принципом дії, точності вимірювання.

Було обрано офіційне програмне забезпечення ArduinoIDE, воно використовується для написання і завантаження програм на плату Arduino. Вихідний код для IDE випущений відповідно до GNU GeneralPublicLicense. Дані фактори є основними для обрання саме цього програмного забезпечення, адже воно є більш гнучким та стабільним, що є дуже важливим фактором при розробці системи керування датчиками вологості. Був розроблений автоматичний комплекс керування електричним датчиком вологості, який підключений до платформи Arduino.

Розроблено математичну модель мікроелектронного автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря з вологочутливим ємнісним елементом НСН-1000. Використовуючи середовище Maple, доведена адекватність розробленої математичної моделі. Встановлено, що на виході автогенератора існують схемотехнічного моделювання LTSpice. Дослідження проводились у діапазоні зміни вологочутливої ємності від 305 пФ до 354 пФ, що відповідає збільшенню значення відносної вологості повітря від 20% до 95%. Отримані теоретичні та експериментальні дослідження мають гарний збіг, відносна похибка не перевищує 1,5%.

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Автогенераторний перетворювач вологості» становить 34,0 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,96 рази.

Також термін окупності становить 1,16 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок, а отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Автогенераторний

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bozhi Yang, Burak Aksak, Qiao Lin, Metin Sitti. Compliant and Low-cost Humidity Sensors using Nanoporous Polymer Membranes. Appeared in *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2006. Vol. 114. No. 1. P. 254–262.
2. Hamid Farahani, Rahman Wagiran, Mohd Nizar Hamidon. Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review. *Sensors*. 2014. No.14. P. 7881–7939. 5. Mario Pelino, Carlo Cantalini. Principles and applications of ceramic humidity sensors. *Active and Passive Elec. Comp.* 1994. Vol. 16. P. 69–87.
3. Ashis Tripathy, Sumit Pramanik, Ayan Manna, Satyanarayan Bhuyan, Nabila Farhana Azrin Shah, Zamri Radzi, Noor Azuan Abu Osman. Design and Development for Capacitive Humidity Sensor Applications of Lead-Free Ca, Mg, Fe, Ti-Oxides-Based Electro-Ceramics with Improved Sensing Properties via Physisorption. *Sensors*. 2016. No. 16. P. 1135.
4. Nathan Lazarus, Sarah S. Bedair, Chiung-C. Lo, and Gary K. Fedder. CMOS-MEMS Capacitive Humidity Sensor. *Journal of microelectromechanical system*. 2010. Vol. 19. No. 1. P. 183–191.
5. Zhi Chen, Chi Lu. Humidity Sensors: A Review of Materials and Mechanisms. *Sensor Letters*. 2005. Vol. 3. P. 274–295.
6. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Крилик Л.В. Сенсори вологості : монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ, 2003. 208 с.
7. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Реактивные свойства транзисторов и транзисторных схем. Винница : «Универсум-Винница», 1999. 275 с.
8. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Seletska O.O., Kisala P., Nurseitova K. Theory of photoreactive effect in bipolar and MOSFET transistors. *Proceedings SPIE Volume 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, 2019. 111761I. 9. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Maksat Kolimoldayev, Paweł Komada, Kanat Mussabekov. Optical transducers with frequency output. *Proc. SPIE*

10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments, 2017, 104451X.

10. Osadchuk A., Osadchuk V., Seletska O., L. Krylik L. Microelectronic Transducer of Gas Concentration based on MOSFET with an Active Inductive Element. PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, R. 95. Warszawa, Poland. 2019. No. 4. P. 237–241.

11. Осадчук О.В., Крилик Л.В., Селецька О.О. Математична модель мікроелектронного вимірювача вологості з частотним виходом. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2019. № 5 (277). С. 195–198.

12. Осадчук О.В., Крилик Л.В., Осадчук Я.О. Математична модель параметричного перетворювача вологості з частотним виходом. Прикладні питання математичного моделювання. Т. 3. № 2.1. 2020. С. 206–215.

13. Осадчук О.В., Осадчук В.С., Звягін О.С. Проблеми вимірювання вологості нафтопродуктів та метод підвищення його точності. Нові технології. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління. 2010. № 1 (27). С. 135–139.

14. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Крилик Л.В., Селецька О.О., Мартинюк В.В. Мікроелектронний перетворювач «вологість-частота» з ємнісними елементами на основі вологочутливих пористих шарів. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2018. № 1 (257). С. 83–87.

15. Осадчук О.В., Звягін О.С., Савицький А.Ю., Барабан С.В., Селецька О.О. The radiomeasuring humidity sensor with the frequency output signal. Вісник Хмельницького національного університету. 2016. № 6. С. 216–218. 20. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Звягін О.С. Частотні перетворювачі для контролю вологості нафтопродуктів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2014. 152 с.

16. Ting K.C., Lin T., Davidson P.C. Integrated urban controlled environment agriculture systems. In book: LED Lighting for Urban Agriculture. Singapore, 2016. P. 19–36.

17. Waaijenberg D., Sonneveld P.J. Greenhouse design for the future with a cladding material combining high insulation capacity with high light transmittance. *Acta horticulturae*. 2004. Vol. 633. P. 137 – 143.
18. Graefe J., Sandmann M. Shortwave radiation transfer through a plant canopy covered by single and double layers of plastic. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2015. Vol. 201. P. 196–208.
19. Pollet I.V., Pieters J.G. PAR transmittances of dry and condensate covered glass and plastic greenhouse cladding. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2002. Vol. 110 (4). P. 285–298.
20. Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops: Principles for mediterranean climate areas / W. Baudoin et al. Rome: FAO, 2013. 640 p.
21. Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable production in the South East European countries / W. Baudoin et al. Rome: FAO, 2017. 449 p.
22. American Society of Agricultural and Biological Engineers ANSI/ASAE EP406.4 JAN2003 (R2008) Heating, Ventilating and Cooling Greenhouses. URL: http://materialstandard.com/wp-content/uploads/2019/07/ANSI-ASABE-E_P406-4-JAN2003-R2008.pdf
23. Shirsath D.O., Kamble P., Mane R., Kolap A., More R.S. IoT based smart greenhouse automation using Arduino. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*. 2017. Vol. 5 (2). P. 234–238.
24. Zade A.V., Harwani S., Bawankule P. A smart green house automation system by wireless sensor networks. *International Journal of Research in Advent Technology*. 2017. Vol. 5 (3). P. 48–50.
25. Xu F., Chen J., Zhang L., Zhan H. Self-tuning Fuzzy Logic Control of Greenhouse Temperature using Real-coded Genetic Algorithm. 9th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (Singapore, 05 Dec. 2006). Singapore, 2006. P. 1–6.
26. Pan H., Xing W., Xu S., Lin X. Design of a new intelligent fuzzy control system of greenhouse temperature. 7th World Congress on Intelligent Control and Automation (Chongqing, 25 – 27 Jun. 2008). Chongqing, 2008. P. 8869–8872.

27. Ito K., Hara Y. Multipoint-measurement multipoint-heating greenhouse temperature control with wooden pellet fuel using an adaptive model predictive control approach with a genetic algorithm. 25th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED) (Valletta, 03 – 06 July 2017). Valletta, 2017. P. 54 – 59.

28. Tykhan M., Dilay I., Markovych V. Study of the influence of a fast changing temperature on metrological characteristics of the tensoresistive pressure sensor. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 1 (7). P. 30–37.

29. Du Y.S., Ma J., Qin L.L., Zhang H.B., Wu G. Application of generalized predictive control algorithm for temperature control in modern greenhouse. 35th Chinese Control Conference (CCC) (Chengdu, 27 – 29 July 2016). Chengdu, 2016. P. 4342–4347.

30. Robles Algarin C., Polo Llanos A. Low-Cost Fuzzy Logic Control for Greenhouse Environments with Web Monitoring. Electronics. 2017. Vol. 6 (71). P. 1–12.

31. Faouzi D., Bibi-Triki N., Mohamed B., Abene A. Optimization, Modeling and Simulation of Microclimate and Energy Management of the Greenhouse by Modeling the Associated Heating and Cooling Systems and Implemented by a Fuzzy Logic Controller using Artificial Intelligence. Informatica. 2017. Vol. 41. P. 317–331.

32. Chandraprabha M., Uma K. Controlling of Green House Parameters through GSM and LabVIEW System. International Journal for Scientific Research & Development. 2017. Vol. 5 (7). P. 358–362.

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

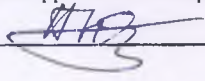
34. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепка – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

Додаток А
(обов'язковий)

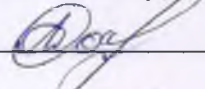
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
АВТОГЕНЕРАТОРНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ВОЛОГОСТІ

Виконав: студент 2-го курсу, групи КІВТ-22м
спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Перегняк Ю.В.
(прізвище та ініціали)

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

 Савицький А.Ю.
(прізвище та ініціали)

«18» 12 2023 р.

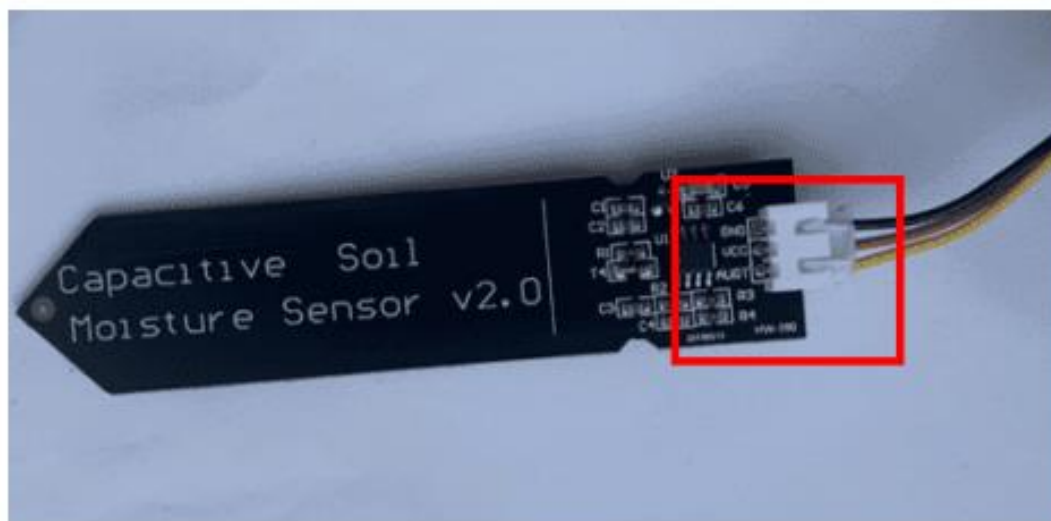


Рисунок 1 – Підключення датчика в роз'єм. Жовтий провід підключаємо на аналоговий вихід на платі, червоний до виходу 5V, чорний до виходу GND

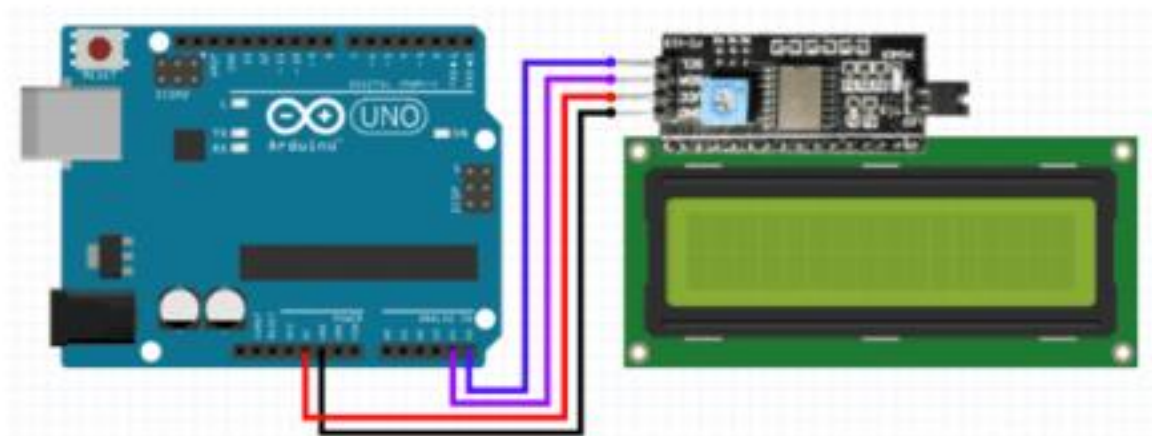


Рисунок 2 – Схема підключення дисплею KERN DBS60-3



Рисунок 3 – Тензіометричні вологоміри

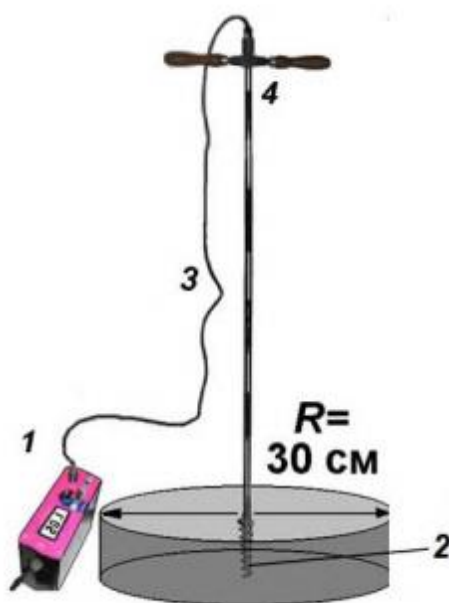


Рисунок 4 – . Вимірювач параметрів ґрунтів ВПГ-4ц: 1 – цифровий вимірювальний блок; 2 – чутливий елемент (у збільшеному вигляді див. рис. 8.23); 3 – з'єднувальний провід; 4 – датчик вологості ґрунту



Рисунок 5 – Результат роботи датчика вологості ґрунту

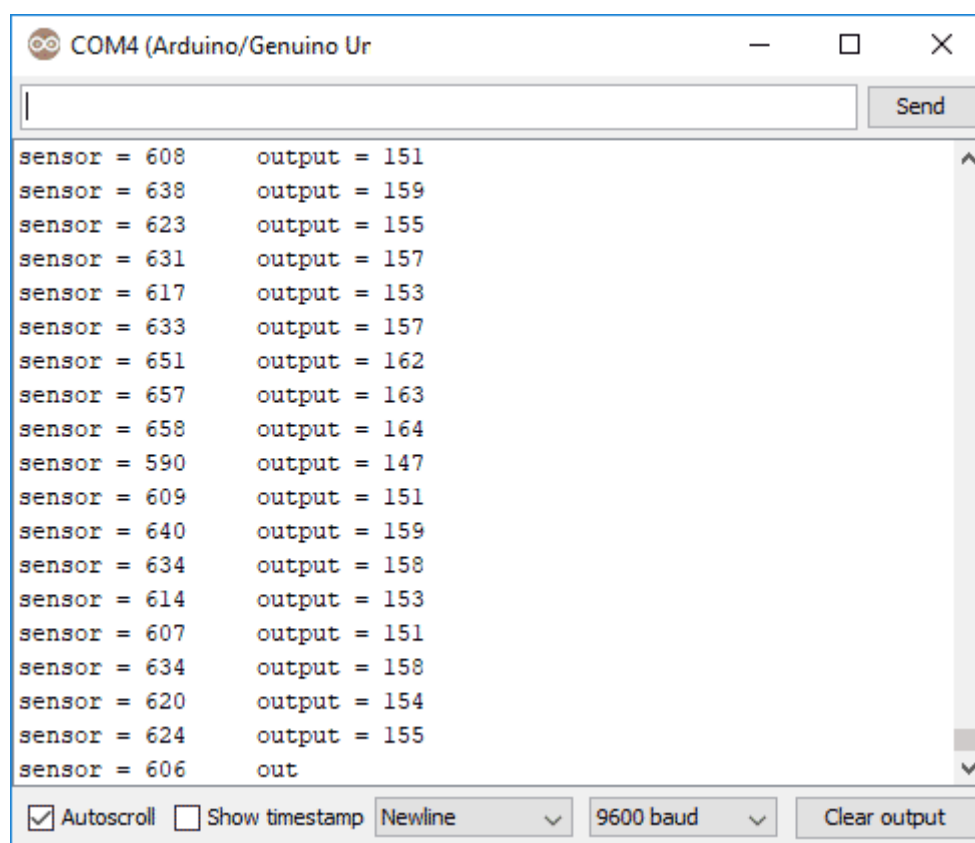


Рисунок 6 – Залежність вологості від напруги
(у вигляді таблиці)

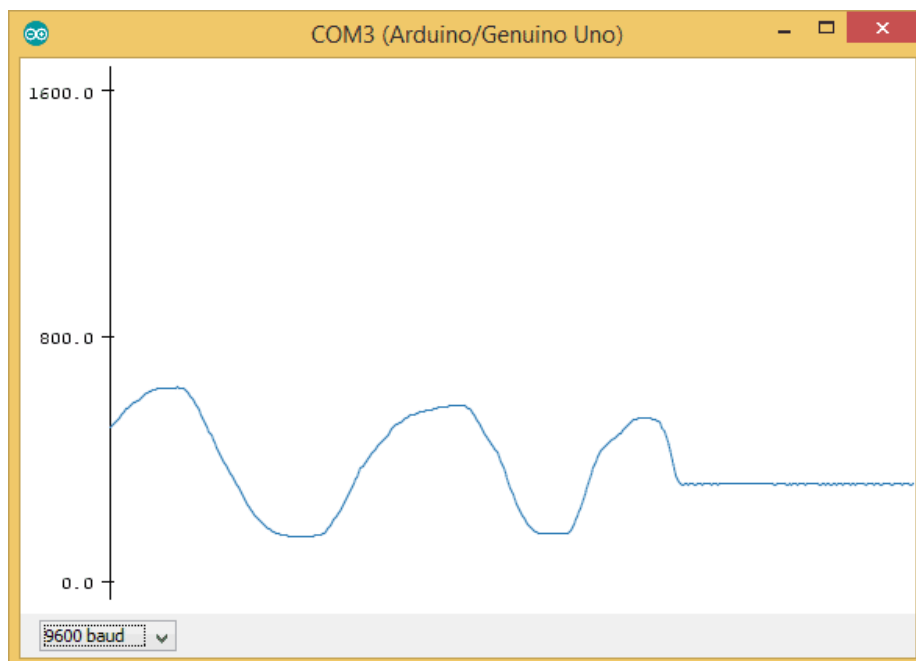


Рисунок 7 – Залежність вологості від напруги

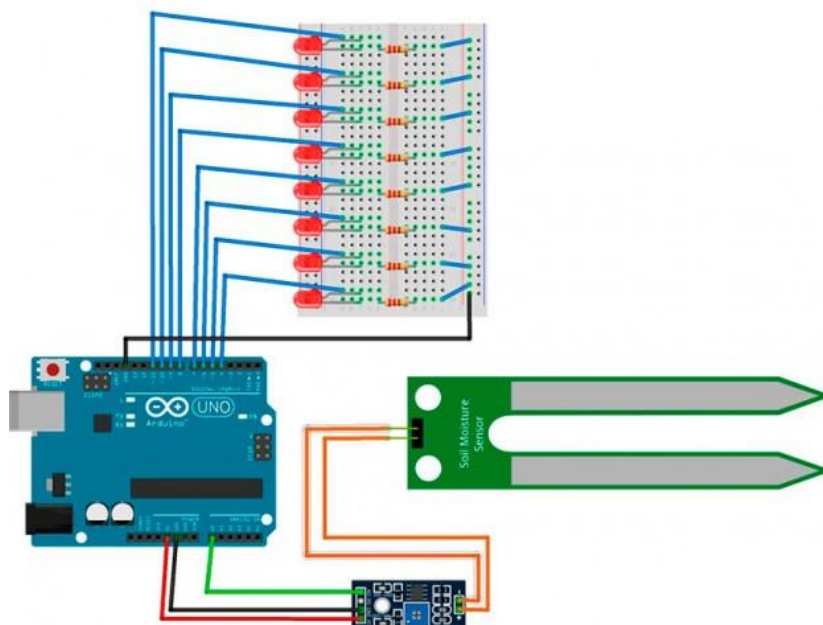


Рисунок 8 – Вологомір на базі Arduino

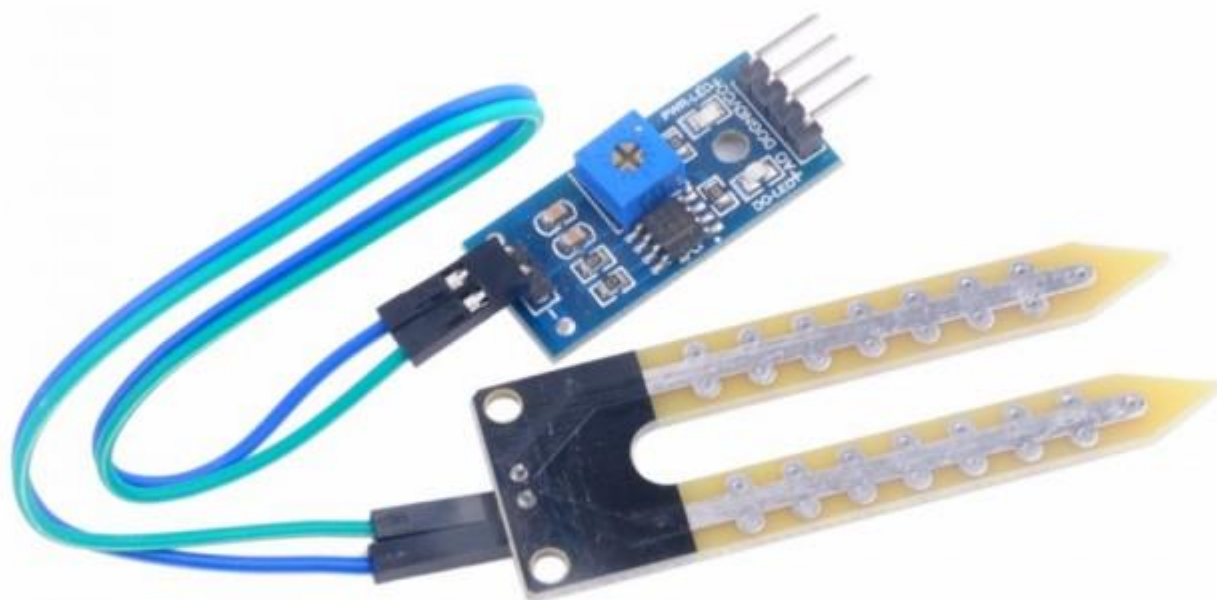


Рисунок 9 – Зовнішній вигляд перетворювача вологості

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ
АВТОГЕНЕРАТОРНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ВОЛОГОСТІ

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

Назва роботи: «Автогенераторний перетворювач вологості»

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра ІРТС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 84% Схожість 16%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

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

Особа, відповідальна за перевірку

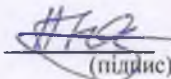

(підпис)

Звягін О.С.

(прізвище, ініціали)

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

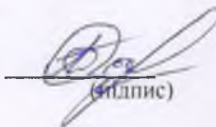
Автор роботи


(підпис)

Пережняк Ю.В.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Савицький А.Ю.

(прізвище, ініціали)

Додаток В
(довідниковий)

АВТОГЕНЕРАТОРНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ВОЛОГОСТІ
ФРАГМЕНТ ЛІСТИНГУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.
ОТРИМАННЯ ТА ОБРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО СИГНАЛУ З
ЄМНІСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Лістинг програми

```
#include <DHT.h>
```

```
// Задаємо тип датчика та пін, до якого він підключений
```

```
#define DHT_PIN 2
```

```
#define DHT_TYPE DHT11
```

```
// Створюємо об'єкт датчика
```

```
DHT dht(DHT_PIN, DHT_TYPE);
```

```
void setup() {
```

```
  // Ініціалізація монітору виводу для виведення даних
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  Serial.println("DHT11 тест!");
```

```
  // Ініціалізація датчика
```

```
  dht.begin();
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
  // Затримка між вимірюваннями
```

```
  delay(2000);
```

```
  // Зчитування вологості та температури
```

```
  float humidity = dht.readHumidity();
```

```
  float temperature = dht.readTemperature();
```

```
  // Перевірка, чи вдалося зчитати дані
```

```
  if (isnan(humidity) || isnan(temperature)) {
```

```
    Serial.println("Помилка зчитування даних з датчика!");
```

```
    return;
```

```
  }
```

```
  // Виведення результатів
```

```
  Serial.print("Вологість: ");
```

```
  Serial.print(humidity);
```

```
  Serial.print("%\t");
```

```
  Serial.print("Температура: ");
```

```
  Serial.print(temperature);
```

```
  Serial.println("°C");
```

```
}
```