

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:

«Радіовимірювальні частотні сенсори температури та вологості для спеціалізованих хмарних систем»

Виконав: студент 2-го курсу, гр. РТ-21м
спеціальності 172 – Телекомунікації
та радіотехніка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)
12 Родінков Ю. М.
(прізвище та ініціали)


Керівник: д.т.н., професор каф. ІРТС
Осадчук О. В.
(прізвище та ініціали)
«30» 12 2022 р.

Опонент: к.т.н., доц., доц. каф. ІКСТ
Семенова О.О.
(прізвище та ініціали)
«21» 12 2022 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ІРТС
Осадчук О.В.
(прізвище та ініціали)
«22» 12 2022 р.

Вінниця ВНТУ - 2022 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Радіотехніка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Завідувач кафедри ІРТС
д.т.н., проф. Осадчук О.В.
«16» вересня 2022 року

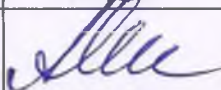

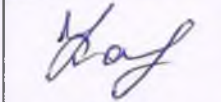
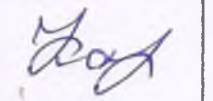
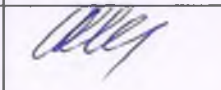

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Родінкову Юрію Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи радіовимірювальні частотні сенсори температури та вологості для спеціалізованих хмарних систем
керівник роботи д.т.н., проф., професор кафедри ІРТС Осадчук О.В.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від «14» 09.2022 р. №203.
2. Строк подання студентом роботи 19.12.2022р.
3. Вихідні дані до роботи: Пристрій повинен виконувати зчитування температури та вологості. Точність вимірювання температури та вологості має становити 5-10%. Математично змоделювати функції перетворення та чутливості частотних параметричних перетворювачів температури на основі транзисторних структур з від'ємним опором.
4. Зміст текстової частини: Літературний огляд. Розробка частотних параметричних перетворювачів температури на основі напівпровідникових структур з від'ємним опором, які містять біполярні та МДН транзистори та володіють ємнісним характером реактивної складової. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема частотного перетворювача температури. Еквівалентна схема перетворювача температури. Залежність чутливості перетворювача з активною індуктивністю від температури. Електрична схема перетворювача вологості з частотним виходом. Теоретичні залежності чутливості перетворювача вологості від відносної вологості повітря в діапазоні 7...95 % з ємнісними елементами виготовленими на основі комплексних сполук: 1 – III; 2 – IV; 3 – I; 4 – II.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	д.т.н., професор Осадчук О. В.		
Економічна частина	доцент каф. ЕПВМ к.е.н., Кавецький В.В.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	професор кафедри БЖДПБ, доцент, д.п.н., Дембіцька С.В.		

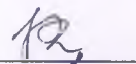
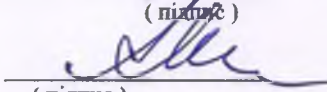
7. Дата видачі завдання 17.09.2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	При-мітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2022-07.09.2022	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2022-13.09.2022	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	14.09.2022-27.09.2022	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	28.09.2022-10.10.2022	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	11.10.2022-04.11.2022	
6.	Розробка графічної частини МКР.	05.11.2022-13.11.2022	
7.	Економічна частина.	14.11.2022-20.11.2022	
8.	Охорона праці (ОП).	21.11.2022-25.11.2022	
9.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	26.11.2022-01.12.2022	
10.	Нормоконтроль.	02.12.2022-09.12.2022	
11.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	10.12.2022-20.12.2022	
12.	Захист МКР ЕК.	21.12.2022-23.12.2022	

Студент

Керівник роботи


(підпис)

(підпис)

Родінков Ю. М.

Осадчук О. В.

РЕФЕРАТ

УДК 621.397

Родінков Ю.М. Радіовимірювальні частотні сенсори температури та вологості для спеціалізованих хмарних систем. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – телекомунікації та радіотехніка, освітня програма - радіотехніка. – Вінниця: ВНТУ, 2022. – 106с. На українській мові. Бібліогр.: 10 назв; Рис. 36.

У магістерській кваліфікаційній роботі проведено аналіз публікацій, присвячених сенсорів температур та вологості. Розглянуто основний принцип роботи датчиків. Розглянуто основні типи вологочутливих та температурозалежних сенсорів. Розглянуто основну характеристику хмарних систем сучасності.

Розглянуто основні характеристики вологорезистивних елементів. Розглянуто застосування датчиків вологості та температури. Розглянуто математичні моделі мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом. Розглянуто математичні моделі параметричних перетворювачів вологості з частотним виходом.

Розглянуто основні функціональні вузли цифрових зчитувачів температури та вологості. Були розглянуті основні розрахунки повного опору на основі біполярних транзисторів з активним індуктивним елементом.

У четвертому розділі проведено розрахунок кошторису витрат на виробництво пристрою та ефективність вкладених інвестицій.

У п'ятому розділі описано рекомендації щодо охорони праці та безпеки при роботі з даним пристроєм.

Ключові слова: датчик вологості, датчик температури, вологорезистор хмарні системи, перетворювачі температури, частотні сенсори.

ABSTRACT

Rodinkov Yu.M. Radio frequency temperature and humidity sensors for specialized cloud systems. Master's qualification work. - Vinnytsia: VNTU, 2022. - 106p. In Ukrainian. Bibliogr .: 10 titles; Figure 36.

In the master's qualification work, an analysis of publications devoted to temperature and humidity sensors was carried out. The main principle of operation of sensors is considered. The main types of moisture-sensitive and temperature-dependent sensors are considered. The main characteristics of modern cloud systems are considered.

The main characteristics of moisture-resistant elements are considered. The use of humidity and temperature sensors is considered. The mathematical model of a microelectronic frequency converter of humidity with a moisture-sensitive resistive element is considered. Mathematical models of parametric humidity converters with frequency output are considered.

The main functional units of digital readers of temperature and humidity are considered. Basic calculations of total resistance based on bipolar transistors with an active inductive element were considered.

In the fourth chapter, the calculation of the cost estimate for the production of the device and the efficiency of the investments made is carried out.

The fifth section describes recommendations for occupational health and safety when working with this device.

Keywords: humidity sensor, temperature sensor, hygrosistor, cloud systems, temperature converters, frequency sensors.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СЕНСОРНИХ СИСТЕМ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ.....	10
1.1 Принцип роботи датчиків температури.....	10
1.2 Класифікація датчиків температури.....	11
1.2.1 Контактні датчики температури.....	12
1.2.2 Безконтактні датчики температури.....	13
1.2.3 Резистивні датчики і термопара.....	15
1.3 Основи вологості та параметри вимірювання.....	18
1.4 Класифікація та застосування датчиків вологості.....	20
1.4.1 Датчики вологості імпедансного типу (резистивні).....	24
1.4.2 Ємнісні датчики вологості.....	27
1.5 Хмарні системи сучасності.....	29
1.6 Висновки до розділу.....	31
2 ЗАСТОСУВАННЯ ДАТЧИКІВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ.....	33
2.1 Датчик вологості повітря.....	33
2.2 Датчик протікання.....	34
2.3 Датчик дощу.....	35
2.4 Датчик вологості ґрунту.....	37
2.5 Висновки до розділу.....	38
3 ЧАСТОТНІ ПАРАМЕТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ.....	39
3.1 Розрахунки повного опору на основі біполярних транзисторів з активним індуктивним елементом.....	39
3.2 Математична модель параметричних перетворювачів вологості з частотним виходом.....	47
3.2.1 Аналіз останніх досліджень і публікацій.....	48

3.2.2 Математична модель мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом.....	56
3.3 Висновки до розділу	69
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	71
4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки	71
4.2 Визначення рівня конкурентоспроможності розробки	75
4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи	78
4.3.1 Витрати на оплату праці	78
4.3.2 Відрахування на соціальні заходи	82
4.3.3 Сировина та матеріали	82
4.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі	83
4.3.5 Спецустаткування для наукових(експериментальних)робіт	85
4.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт	86
4.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень	87
4.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей	88
4.3.9 Службові відрядження	89
4.3.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації	90
4.3.11 Інші витрати.....	90
4.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати	91
4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором	92
4.5 Висновки до розділу	97
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	98
5.1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт	98
5.1.1 Технічні рішення з організації робочого місця під час проектування.....	98

5.1.2. Електробезпека виробничого приміщення.....	102
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	102
5.2.1. Мікrokлімат.....	102
5.2.2. Склад повітря робочої зони.....	103
5.2.3. Виробниче освітлення.....	104
5.2.4. Виробничий шум.....	105
5.2.5. Електромагнітні випромінювання.....	106
5.2.6 Психофізіологічні фактори.....	107
5.3 НС внаслідок наявності в навколишньому середовищі шкідливих речовин понад ГДК.....	107
ВИСНОВКИ.....	109
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	110
Додаток А (обов'язковий). Ілюстративна частина.....	112
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (магістерської) кваліфікаційної роботи.....	128

ВСТУП

Останніми роками удосконалення технологій виробництва датчиків відбулося завдяки високошвидкісним, малопотужним і недорогим мікроелектронним гібридним схемам постпроцесу, сучасним методам формування сигналу і прогресу в технологіях мініатюризації. Вимога комерційної конкурентоспроможності — послідовне підвищення якості та надійності продукції. Крім того, важливо знати ступінь ефективності кожного датчика, пов'язану з умовами його калібрування та механізмом чутливості.

Актуальність теми. На сьогоднішній день методи моделювання та допоміжні засоби проектування адекватно використовуються для прогнозування та покращення вихідних даних до впровадження процесів масового виробництва, щоб заощадити час та підвищити якість. Мініатюризація сенсорних пристроїв пропонує численні переваги, такі як низький гістерезис, серійне виготовлення.

Відомо, що вологість відіграє значну роль у кожній частині Землі в біології та автоматизованих промислових процесах. Щоб мати бажану навколишню атмосферу, важливо контролювати, виявляти та контролювати вологість навколишнього середовища за різних умов, починаючи від низької температури до високої або в сумішах з іншими газами, за допомогою точних і обережних датчиків.

Серед застосувань датчиків вологості є використання в інтелектуальних системах і мережах як датчиків моніторингу для визначення вологості ґрунту під час зрошення в сільському господарстві або для діагностики корозії та ерозії в інфраструктурі та цивільному будівництві. Насправді потреба в захисті умов навколишнього середовища призвела до розширення різноманітних розробок датчиків вологості на основі використання фізичних і хімічних методів у присутності органічних, неорганічних або гібридних матеріалів.

Удосконалення сенсорних систем вологості охоплює посилення зусиль щодо покращення характеристик перетворювачів, таких як чутливі елементи, дизайн конструкції, принцип механізму та технології виготовлення.

Мета і задачі дослідження

Метою роботи є розгляд, аналіз та розробка сенсорної системи температури та вологості.

Об'єктом дослідження є датчики температури та вологості.

Предметом дослідження є методи та засоби отримання вимірювання кліматичних характеристик для хмарних систем різного призначення.

Методи дослідження ґрунтуються на використанні:

- Розрахунків повного опору на основі біполярних транзисторів з активним індуктивним елементом
- Математичної моделі параметричних перетворювачів вологості з частотним виходом
- Математичної моделі мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом

Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна роботи полягає в тому, що розглянуто та удосконалено структурні та принципові схеми сенсорних систем для хмарних технологій.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СЕНСОРНИХ СИСТЕМ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ

1.1 Принцип роботи датчиків температури

Датчик температури перетворює температуру в доступний вихідний сигнал, використовуючи закон, відповідно до якого фізичні властивості речовини змінюються з температурою. Як і всі датчики, датчик температури перетворює зміну фізичного транспортного засобу на зчитувану величину, що вказує на зміну. Наприклад, у ртутному термометрі зміна зовнішнього тепла призводить до того, що рідка ртуть у скляному тілі розширюється або стискається, таким чином піднімаючись або опускаючись у тонкій трубці, позначеній шкалою температури, де шкала температури змінюється лінійно з нагріванням навколишнього середовища. енергії. Сфера, що містить ртуть, є датчиком температури термометра, і шкала вздовж скляної трубки є читабельною.

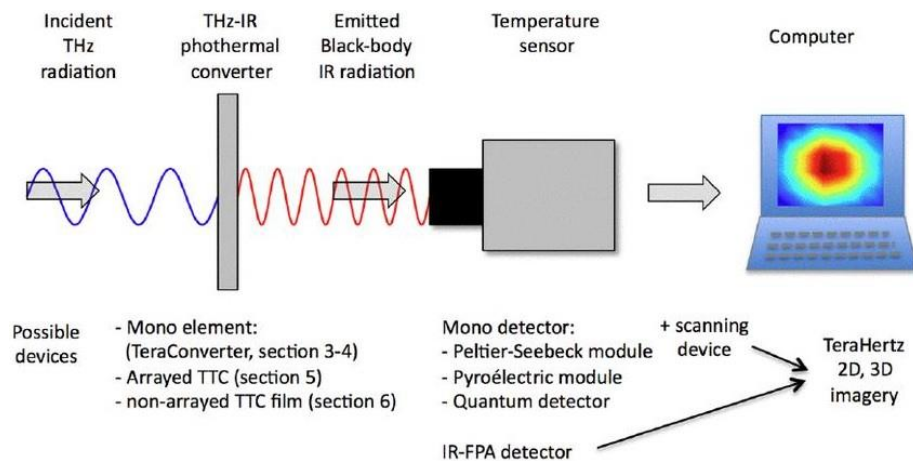


Рисунок 1.1 – Принцип роботи датчиків температури

Датчики температури відіграють вирішальну роль у широкому асортименті побутових і комерційних товарів. У побутових приладах він забезпечує правильну роботу печей, холодильників і термостатів центрального кондиціонування повітря, підтримуючи температуру в певному

діапазоні, запускаючи охолодження або нагрівання компонентів щоразу, коли температура перевищує встановлений діапазон, і регулюючи температуру навколишнього середовища до певного сталого значення. - державний рівень.

У промисловому застосуванні, наприклад, у хімічному машинобудуванні, йому потрібна достатня чутливість, щоб виявити ледь помітні зміни температури, щоб правильно контролювати хімічну реакцію. Усі датчики температури реагують на термодинамічні зміни: зі збільшенням теплової енергії, більш інтенсивним рухом молекул, розширенням системи або середовища та підвищенням температури.

1.2 Класифікація датчиків температури

Відповідно до режиму вимірювання його можна розділити на контактний і безконтактний, а також на термічний опір і термопару відповідно до характеристик матеріалів датчика та електронних компонентів. Його можна розділити на термопари, термістори, датчики температури опору (RTD) і датчики температури ІС. Датчики температури ІС мають аналоговий і цифровий вихід.

Розробка датчика температури пройшла наступні три стадії: оригінальний звичайний дискретний датчик температури (включаючи чутливий елемент), в основному здатний перемикатися між неелектричною величиною та електричною величиною. Аналогові вбудовані датчики/контролери температури з'явилися в 1980-х роках. А потім до гарячих досліджень інтелектуальних датчиків температури сьогодні. Наразі новий тип датчика температури у світі розвивається від аналогового до цифрового, інтегрованого до інтелектуального та мережевого.

1.2.1 Контактні датчики температури

Елемент вимірювання температури контактного датчика температури має хороший тепловий контакт з об'єктом, що перевіряється, також відомий як термометр. Тепловий баланс досягається за принципом теплопровідності та конвекції, а показником є температура вимірюваного об'єкта. Цей метод має високу точність і дозволяє вимірювати розподіл температури всередині об'єкта.

Однак для об'єктів з невеликою теплоємністю та корозією температурних чутливих елементів метод створюватиме великі похибки. Основними особливостями цього типу методу вимірювання температури є невеликі мішені, які можуть вимірювати стан руху, а об'єкти з невеликою або швидкою теплоємністю можуть вимірювати розподіл температури в температурному полі, але на це сильно впливає навколишнє середовище.

Зазвичай використовуваним контактним термометром є біметалічний термометр, скляний рідинний термометр, термометр тиску, термометр опору, термістор і термопара. Вони широко використовуються в галузях промисловості, сільського господарства, торгівлі тощо, і люди часто використовуються в повсякденному житті. Із застосуванням низькотемпературної технології в галузях національної оборонної техніки, космічної техніки, металургії, електроніки, харчової, медицини та нафтохімічної промисловості було розроблено низькотемпературний термометр з температурою нижче 120 К, такий як низькотемпературний газ термометр і термометр тиску пари.

Акустичний термометр, парамагнітний сольовий термометр, квантовий термометр, низькотемпературний терморезистор, низькотемпературна термопара тощо. Низькотемпературний термометр потребує невеликого об'єму, високої точності, гарної відтворюваності та стабільності температурних чутливих елементів.



Рисунок 1.2 – Контактні датчики температури

1.2.2 Безконтактні датчики температури

Чутливий елемент безконтактного датчика температури не контактує з об'єктом вимірювання, також відомий як безконтактний термометр. Цей прилад можна використовувати для вимірювання температури поверхні рухомих об'єктів, невеликих цілей і об'єктів з малою теплоємністю або швидкою (перехідною) зміною температури, а також може використовуватися для вимірювання розподілу температури температурних полів. Найбільш часто використовуваний безконтактний термометр заснований на основному законі випромінювання чорного тіла, тому його називають радіаційним термометром.

Верхня межа вимірювання безконтактним датчиком температури не обмежена температурним опором чутливого елемента температури, тому максимальна вимірювана температура в принципі не обмежена. Для високої температури понад 1800 °C в основному використовується безконтактний метод вимірювання температури. З розвитком інфрачервоної технології вимірювання радіаційної температури поступово поширюється від видимого світла до інфрачервоного випромінювання, яке використовувалося при температурі нижче 700 °C до кімнатної температури, і роздільна здатність дуже висока.

Радіаційний термометр включає метод яскравості (оптичний пірометр), радіаційний метод (радіаційний пірометр) і колориметричний метод (колориметричний термометр). Усі види методів вимірювання температури радіації можуть вимірювати лише відповідну фотометричну температуру, температуру радіації або колориметричну температуру. Тільки температура, виміряна на чорних тілах (об'єктах, які поглинають все випромінювання і не відбивають світло), є реальною температурою.

Якщо ви хочете визначити справжню температуру об'єкта, ви повинні виправити поверхневу випромінювальну здатність матеріалу. Однак поверхнева випромінювальна здатність матеріалу залежить не лише від температури та довжини хвилі, але й від стану поверхні, плівки та мікроструктури, і тому її важко точно виміряти. В автоматичному виробництві часто доводиться використовувати вимірювання температури випромінювання для вимірювання або контролю температури поверхні певних об'єктів, наприклад температури прокатки сталеві стрічки в металургії, температури валків, температури кування та температури різних розплавлених металів у плавильних печах або тиглях. У цьому випадку вимірювання поверхневої випромінювальної здатності об'єкта є досить складним.

Для автоматичного вимірювання та контролю температури поверхні твердого тіла можна використовувати додаткові дзеркала для формування порожнини чорного тіла разом з вимірюваною поверхнею. Вплив додаткового випромінювання може покращити ефективне випромінювання та ефективний коефіцієнт випромінювання вимірюваної поверхні. Ефективний коефіцієнт випромінювання використовується для коригування виміряної температури за допомогою приладу, і в кінцевому підсумку можна отримати реальну температуру вимірюваної поверхні.



Рисунок 1.3 - Безконтактні датчики температури

1.2.3 Резистивні датчики і термопара

Резистивні датчики вимірюють температуру, використовуючи характеристику, що опір речовини змінюється зі зміною температури. Нагрівальна частина терморезистора (температурний чутливий елемент) являє собою каркас з тонкого дроту, рівномірно обмотаного навколо ізоляційного матеріалу. Коли температура в вимірюваному середовищі змінюється, виміряна температура є середньою температурою в середовищі, в якому температура є чутливою. Якщо значення опору зростає з підвищенням температури, це називається позитивним питомим опором. Якщо температура підвищується, значення опору зменшується, що називається негативним питомим опором.

Більшість резистивних датчиків температури виготовлені з металу, тому для різних металів зміна опору змінюється для кожного градуса зміни температури. В даний час найчастіше використовуються платина і мідь, а термостійкість тепер починається з таких матеріалів, як нікель, марганець і залізо. Датчик теплового опору зазвичай потребує передачі сигналу опору через кабель до комп'ютерного керування або іншого одноразового інструменту. У порівнянні з іншими датчиками, термометр опору має наступні характеристики:

А. Висока точність до 1 мк;

В. Сильний вихідний сигнал і висока чутливість;

С. Широкий діапазон температур і хороша стабільність. У невеликому та відповідному середовищі він може підтримувати стабільність нижче 0,1 градуса Цельсія протягом тривалого часу;

Д. Значення температури можна отримати безпосередньо за вимірним значенням опору без опорної точки;

Е. З хорошою вихідною лінійністю лінійний вихід можна отримати лише за допомогою простої допоміжної схеми, а прилад для відображення можна рівномірно масштабувати.

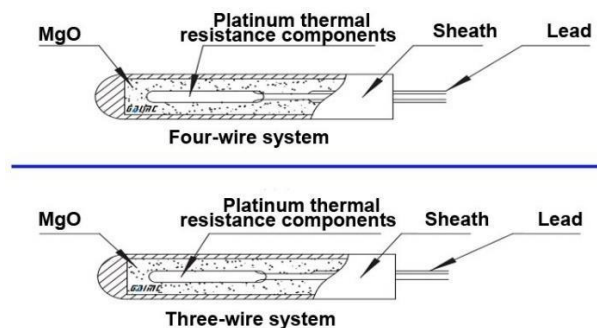


Рисунок 1.4 – Компоненти термодатчиків

Термопара. Це традиційний датчик роздільного типу, який є одним із найбільш широко використовуваних датчиків температури в промислових вимірюваннях. Принцип роботи такий: згідно з ефектом Зеєбека у фізиці, тобто в ланцюзі, утвореному двома металевими провідниками, якщо їхні контакти підтримують різну температуру, у ланцюзі генерується електрорушійна сила, що відповідає різниці температур. Термопара має такі переваги, як проста структура, широкий температурний діапазон, швидка реакція, точне вимірювання та хороша відтворюваність. Крім того, температуру в мікрзоні також можна виміряти за допомогою тонкого сполучного дроту, і немає необхідності в електроживленні.

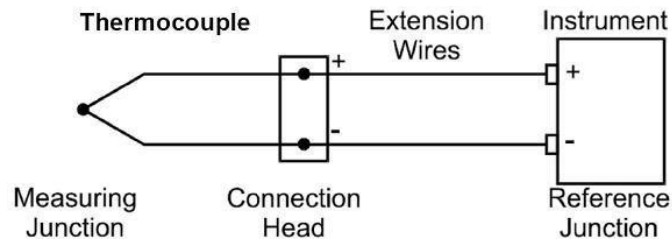


Рисунок 1.5 – Підключення приладу термопар

Термопара складається з двох металевих дротів з різних матеріалів, зварених на кінцях. Температуру навколишнього середовища ненагрітої частини можна виміряти знову, а температуру гарячої точки можна точно визначити. Оскільки він повинен мати два провідники з різних матеріалів, його називають термопарою. Загалом термопари з різних матеріалів використовуються в різних діапазонах температур, і їх чутливість різна. Чутливість термопар стосується зміни вихідної різниці потенціалів, коли температура гарячої точки змінюється на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для термопар, підтримуваних більшістю металевих матеріалів, це значення становить близько 5×40 мікровольт / $^{\circ}\text{C}$.

Оскільки чутливість термопар не залежить від товщини матеріалу, датчик температури можна виготовити з дуже тонкого матеріалу. Крім того, завдяки високій пластичності металевих матеріалів, які використовуються для виготовлення термопар, цей тонкий вимірювальний елемент температури має дуже високу швидкість відгуку та може вимірювати процес, що швидко змінюється.

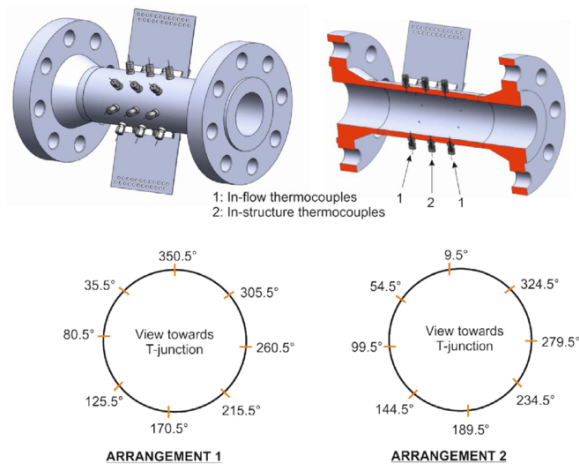


Рисунок 1.6 - Модуль термопар та його вид у розрізі

1.3 Основи вологості та параметри вимірювання

Вологість визначається як кількість водяної пари в атмосфері повітря або інших газів. Параметри вологості вказуються різними способами, а відповідні одиниці вимірювання базуються на використовуваній техніці вимірювання. Найпоширенішими термінами є «Відносна вологість (RH)», «Частини на мільйон (PPM)» за вагою або об'ємом і «Точка роси/замерзання (D/F PT)», у яких два останні є підкласами — Абсолютна вологість (AB)». Одиниці абсолютної вологості застосовуються для первинних результатів вимірювання, оскільки можна безпосередньо виміряти значення вмісту водяної пари. На відміну від цього, відносна вологість справедлива для вторинних результатів вимірювання, оскільки вимірювання значень водяної пари певним чином опосередковується.

Абсолютна вологість (щільність пари) визначається як відношення маси водяної пари в повітрі до об'єму повітря в грамах на кубічний метр або гранах на кубічний фут (1 гран = 1/7000 фунт-фунт) і виражається як:

$$AB = \frac{m_w}{v} \quad (1.1)$$

де AB — абсолютна вологість, m_w — маса водяної пари і v це об'єм повітря.

Відносна вологість (скорочено RH) визначається як відношення вмісту вологи в повітрі до максимального (насиченого) рівня вологи, який повітря може утримувати за тієї самої заданої температури та тиску газу. RH – це величина, що залежить від температури, і, отже, це відносне вимірювання. Вимірювання RH вказується у відсотках і визначається за виразом:

$$RH\% = \frac{P_V}{P_S} \times 100 \quad (1.2)$$

де P_V — фактичний парціальний тиск вмісту вологи в повітрі, а P_S — тиск насиченого вологого повітря при тій самій заданій температурі (обидва в барах або кПа).

Вологість насичення визначається як відношення маси водяної пари при насиченні до об'єму повітря:

$$SH = \frac{m_{ws}}{v} \quad (1.3)$$

де SH – вологість насичення ($г/м^3$), m_{ws} – маса водяної пари при насиченні ($г$), v – об'єм повітря ($м^3$). Вологість насичення є функцією температури і може забезпечити максимальний вміст вологи (масу) в одиниці об'єму газу при даній температурі.

Відповідно до рівняння (3), відносну вологість можна представити іншим способом, обчисливши відношення абсолютної вологості до вологості насичення у відсотках таким чином:

$$RH\% = \frac{AB}{SH} \times 100 \quad (1.4)$$

Частини на мільйон за об'ємом (PPMv) визначають як об'єм вмісту водяної пари на об'єм сухого газу, а частки на мільйон за масою (PPMw) отримують множенням PPMv на молярну масу води на молярну масу цього газу або повітря. PPMv і PPMw є одними з вимірювань абсолютної вологості.

Точка роси визначається як температура (вище 0 °C), при якій водяна пара в газі починає конденсуватися в рідку воду, а точка замерзання — це температура (нижче 0 °C), при якій конденсується водяна пара в газі. в лід. Параметри точки D/F є функціями тиску газу, але не залежать від температури та належать до вимірювань абсолютної вологості. Іншими словами, точка роси - це температура, при якій тиск водяної пари насичення дорівнює парціальному тиску водяної пари (в повітряній атмосфері). Різниця між температурою навколишнього середовища та температурою точки роси є мірою відносної вологості навколишнього повітря.

1.4 Класифікація та застосування датчиків вологості

Дослідження датчиків вологості швидко прогресували, і датчики вологості — незалежно від техніки виготовлення — широко використовуються в промислових і побутових цілях як контрольно-вимірювальне обладнання або для забезпечення комфорту людини. Через різні умови роботи датчиків вологості в різних сферах застосування, починаючи від використання в приміщенні та на відкритому повітрі, були розроблені різні типи датчиків вологості на основі різних принципів роботи та різноманітних гігроскопічних сенсорних матеріалів.

Серед різноманітних термінів і одиниць оцінки вологості найбільш поширеними є абсолютна вологість і відносна вологість. Залежно від одиниць вимірювання датчики вологості поділяються на два основні класи: датчики «відносної вологості (RH)» і «абсолютної вологості» (гігрометри). У більшості випадків вимірювання вологості вимірювання відносної вологості краще, ніж вимірювання абсолютної вологості. Відносна вологість % використовується

найчастіше, тому що він, як правило, простіший і, отже, дешевший, і широко використовується в програмах, пов'язаних із якістю повітря в приміщенні та проблемами комфорту людини. Відповідно, у дослідницьких лабораторіях і громадських додатках RH повсюдно застосовується для спрощення процесу проектування та подальшого використання як вторинного датчика. Одиниці абсолютної вологості, а саме точка роси/замерзання (D/F PT) і частки на мільйон за вагою (PPMw) або за об'ємом (PPMv), переважно використовуються для відстеження (вимірювання слідів вологи) як основні датчики. Як абсолютні одиниці вони описують абсолютну кількість водяної пари в газоподібних середовищах. Оскільки більшість наявних у продажу датчиків вологості є датчиками відносної вологості, їх можна згрупувати на основі типів чутливих матеріалів і принципу дії. У 1980-х роках різні чутливі елементи були приблизно класифіковані на три основні групи електrolітів, пористої кераміки та органічних полімерів. Приблизно через десять років, у 1994 році, згідно з класифікацією Траверси, комерційно розроблені датчики вологості були переважно засновані на пористій кераміці та органічних полімерних плівках. У 2005 році запропонували інший тип категоризації, згідно з яким датчики відносної вологості були розділені на три класи: керамічні, напівпровідникові та види органічних полімерів. Крім того, у цій класифікації датчики абсолютної вологості доступні у двох типах: датчики твердої вологи та дзеркальні (охолоджені дзеркала).

Наразі на ринку або в лабораторних дослідженнях представлено багато датчиків вологості різних брендів, які є датчиками відносної вологості, які далі класифікуються на три класи, включаючи датчики керамічного типу (напівпровідникові), датчики на основі органічних полімерів та гібридні органічні/неорганічні датчики. датчики (полімерні/керамічні). Переглядаючи опубліковані результати в цій галузі, автори визначили, що майже 80% цих трьох типів засновані на електrolітичних властивостях чутливої речовини через внутрішні електrolіти води. Датчики вологості, що використовують нанодропи, нановолокна, нанострижні та рп гетеропереходи, є підкласами

керамічного (неорганічного) типу. Що стосується внутрішніх властивостей чутливих елементів, типи кераміки можуть бути розроблені з використанням напівпровідникових або діелектричних металооксидних композитів. Крім того,

Усі три категорії таких датчиків (так звані гігрометричні датчики) використовують зміни у фізичних та електричних властивостях чутливих елементів під впливом різних умов атмосферної вологості навколишнього середовища та забезпечують вимірювання вологості через деяку кількість адсорбції та десорбції молекул водяної пари. Було встановлено, що пористі плівки виявляють більш високу чутливість до вологи, ніж непористі аналоги. Наявність пористості, а також розподіл пор за розміром також є одними з визначальних факторів для перетворювачів вологості. Вимірювання вологості в датчиках гігрометра здійснюється шляхом вимірювання електричного опору (провідності) або ємності чутливих речовин, що пропорційно зміні фізики деяких органічних або неорганічних синтетичних тіл. Основою вимірювання вологи є фізична та хімічна адсорбція молекул води, яка буде описана в наступному розділі.

У 1937 році електролітичний датчик вологості на основі хлориду літію (LiCl), розроблений Данмором, став першим і єдиним електричним датчиком вологості, доступним приблизно до середини 1970-х років. Датчики електроліту LiCl широко використовуються в схемах радіозондування (метеорологічних кульок, які використовуються для вимірювання параметрів атмосфери), а також у медичних цілях. Пористий опорний матеріал занурювали у чутливий до вологості частково гідролізований полівінілацетат, який просочували розчином LiCl, і різниця потенціалів прикладалася до опор для формування електролітичної комірки. Завдяки поглинанню атмосферних водяних парів через пористе середовище іонна провідність клітин змінювалася, а також виявлялася кількість вологості.

Датчики вологості, чутливі до імпедансу, які охоплюють усі три класи, далі класифікуються на іонні та електронні (носії заряду) датчики провідності.

Ця класифікація визначається механізмом електричного транспорту. Датчики на основі електролітів є окремими випадками, які слідують лише механізму транспортування іонів. Пізніше ми представимо та класифікуємо різні типи сенсорних матеріалів, принципи роботи (імпедансний іонний або імпедансний електронний чи ємнісний тип) із діапазонами вологості та температури різних датчиків гігрометра.

Традиційно сенсори вологості з органічної полімерної плівки поділяються на основні категорії резистивного типу (імпедансного типу) та ємнісного типу, причому перші далі поділяються на підрозділи до електронних та іонних датчиків провідності. Ця класифікація базується на механізмі сприйняття, в якому попередній містить поліелектроліти, реагуючи на коливання водяної пари, змінюючи свій питомий опір, тоді як в останньому вологість вимірюється на основі зміни діелектричної проникності полімерних діелектриків і, отже, зміни ємності.

Датчики вологості керамічного типу на основі оксидів металів продемонстрували деякі переваги порівняно з полімерними плівками з точки зору їх механічної міцності, термічної здатності, фізичної стабільності та стійкості до хімічного впливу, що показує, що вони є найбільш перспективними матеріалами для електрохімічної вологості. застосування датчиків. Цей клас датчиків можна розділити на дві групи, імпедансні або ємнісні типи, відповідно до їхніх механізмів сприйняття, залежно від того, чи використовують вони властивості провідності чи ємності чутливого шару для виявлення вологості. Датчики імпедансного типу, у свою чергу, поділяються на типи іонної провідності та електронної провідності. Електронний та іонний типи надають значення вологості шляхом кількісного визначення змін провідності чутливих плівок у порівнянні з різними рівнями вологості. Гетероперехідні датчики вологості pH також відносять до керамічних типів.

В основному металооксидна кераміка, яка використовується в датчиках вологості, готується за допомогою звичайних і вдосконалених методів обробки кераміки і в основному розроблена для отримання пористих тіл.

Перевагою абсорбуючої губчастої поверхні, а не конденсату, є більша проникність молекул води, тому молекули водяної пари можуть легко проходити через отвори пор, а капілярна конденсація відбувається в капілярно-пористих структурах, які утворилися між розподілом зерен на поверхні кераміки. під час процесу видалення пор.

Сучасний рівень розробки та перспективні проблеми датчиків вологості представлені в таблиці 1. Крім того, у таблиці наведено класифікацію датчиків вологості на основі технологій трансдукції та сенсорних матеріалів.

Таблиця 1.1 - Найсучасніші датчики вологості на основі технологій виготовлення та сенсорних матеріалів.

Тип	Технологія виготовлення	Сенсорний матеріал			Вартість
		Електроліт	Полімер	Кераміка	
Відносний	Звичайна кераміка/напівпровідник	Доступний	Недоступний	Доступний	Низька
	Товста плівка	Недоступний	Доступний	Доступний	Середня
	Тонка плівка		Недоступний	Доступний	Середня
	р-п Гетероперехід		Недоступний	Доступний	Середня-висока
Абсолютний	Тверда вологість	Недоступний	Недоступний	Доступний	Низька-середня
	Охолоджене дзеркало			Недоступний	Висока

1.4.1 Датчики вологості імпедансного типу (резистивні)

Датчики вологості резистивного типу зазвичай містять електроди з благородних дорогоцінних металів або нанесені на аскляну або керамічну підкладку за допомогою техніки товстоплівкового друку або осадження тонкої плівки. Конфігурація конструкції більшості резистивних датчиків базується на

міжпальцевих (міжпальцевих) електродах, в яких чутливі до вологи плівки розміщені між ними так, що вони торкаються електродів E1 і E2. Підкладка платформи може бути покрита або електролітично провідними полімерами, такими як солі та кислоти, або легованими керамічними сенсорними плівками. У деяких випадках датчики на основі плівки формуються шляхом застосування обох методів друку, наприклад, трафаретного або струминного друку, і методів покриття, наприклад, методів хімічного осадження з парової фази (CVD), таких як нанесення покриття центрифугуванням і зануренням, або фізичне осадження з парової фази у вакуумі (PVD), такі як термічне випаровування та холодне напилення.

У гібридних структурах часто друкований шар товстої плівки є нижнім шаром. Серед згаданих методів осадження електрохімічне осадження в основному оперативне, коли потрібне покриття невеликої площі підготовленими полімерами. Однак є рідкісні роботи, в яких застосовувалися різні методи осадження, такі як методи розпилення або комбінація піролізу розпиленням з іншими методами.

Резистивні датчики вимірюють зміну вологості і переводять її в зміну електричного опору гігроскопічного середовища. Як правило, зміна опору вологості відбувається за зворотною експоненціальною асоціацією та майже змінюється від 1 кОм до 100 МОм. Як правило, при адсорбції водяної пари її молекули дисоціюють на іонні функціональні гідроксильні групи, що призводить до збільшення електропровідності плівки. Крім того, час відгуку резистивних датчиків здебільшого коливається від 10 до 30 с для зміни рівня вологості на 63%. Ескіз прототипу плоского товсто/тонкоплівкового датчика вологості на основі міжпальцевої структури з пористою мембраною показаний на рисунку 1.7. Важливі параметри конструкції виділено на схематичному ескізі.

Початковий тонкоплівковий датчик вологості резистивного типу з високою точністю (1%), який називається «Hument» був розроблений компанією Nakaasa Instrument Co. Ltd. у 1978 році і вийшов на ринок. На

рисунку 1.8 показано схематичний ескіз і розміри цього датчика. Його було отримано на основі кополімеризації солей амонію на Au міжштифтовому електроді, розміщеному на підкладці з оксиду алюмінію. Час відгуку адсорбції виміряли приблизно 2 хв, тоді як під час процесу десорбції він був трохи довшим. Нимент страждає від тривалого часу відгуку та великих розмірів. З часом з'явилися інші кополімери з різними способами отримання, такі як поперечно-зшиті кополімери (мережі поперечно-зшитих полімерів), отримані методом фотополімеризації, вінілового полімеру та N,N-метилен-bis-акриламідю як поперечного зшивання регента.

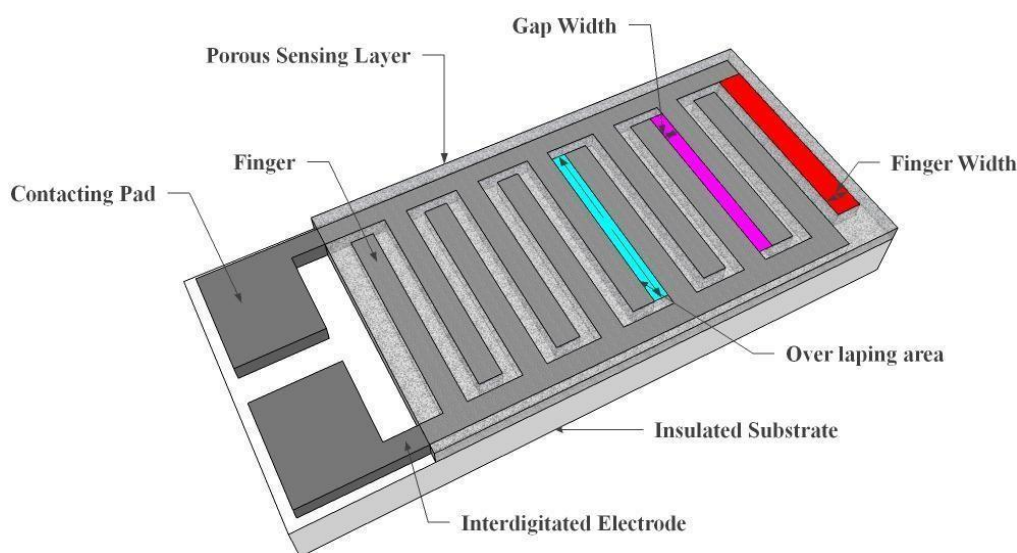


Рисунок 1.7 - Ескіз планарного датчика вологості на основі товстої/тонкої плівки на основі міжпальцевої структури з пористим чутливим елементом

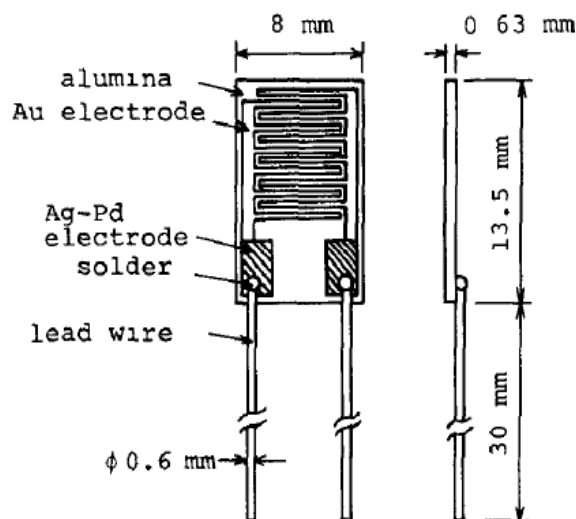


Рисунок 1.8 - Схематичний вигляд датчика вологості типу «Hument HPR»

1.4.2 Ємнісні датчики вологості

Типова конфігурація ємнісних датчиків вологості може бути або структурою типу «сендвіч» з двома поверхніми електродів з кожного боку, або структурою між пальцями з гребінчастими електродами, як резистивні датчики відносної вологості, так що діелектрична полімерна плівка осідає між ними. Кілька ємнісних датчиків відносної вологості були розроблені та виготовлені на золотих, платинових або срібних електродах зі змішаними пальцями, причому ця платформа містить органічні полімерні тонкі плівки або пористу кераміку, таку як оксид алюмінію, перовскіти та пористий кремній, на основі методів осадження або нанесення покриття на керамічну підкладку.

Паралельна пластинчаста структура зазвичай містить два металеві електроди, які нанесені на підкладку та покриті шаром тонкої плівки діелектричного полімеру або пористого керамічного оксиду металу. Як верхній електрод, верх сенсорної поверхні покритий тонким шаром випареного золота, щоб захистити його від забруднення навколишнього середовища або пилу та допомогти забезпечити кращу конденсацію. У сендвіч-конфігурації верхній пористий електрод завжди є паропроникною плівкою. Тонкоплівковий датчик вологості ємнісного типу під назвою

«Humicapre» був розроблений компанією Vaisala у Фінляндії та широко використовується в радіозондах та інших інструментах вимірювання вологості. Конфігурація датчика показана на рисунку 1.9.

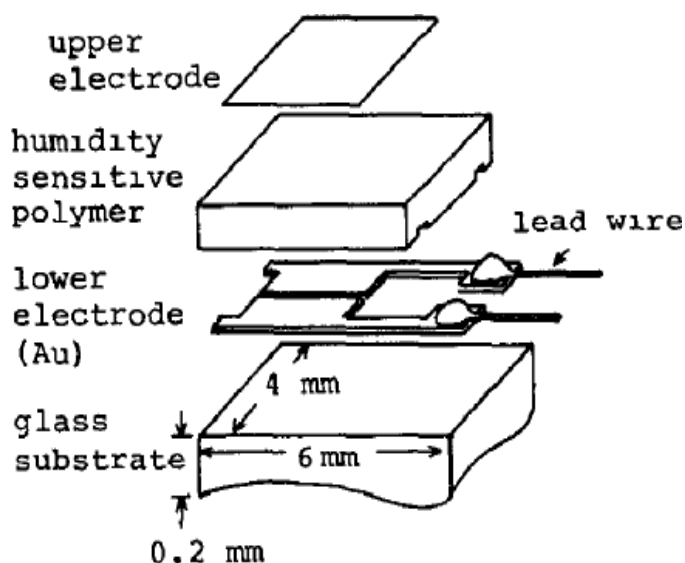


Рисунок 1.9 - Конфігурація датчика вологості «Humicapre»

Структура складалася з подвійних нижніх електродів, які були прикріплені до скляної підкладки шляхом випаровування індію. Поверх нього було нанесено чутливий шар тонкої плівки з ацетату целюлози. Нарешті золото було випарено як верхній електрод поверх полімерного шару. Товщина шару золота становила приблизно 10–20 нм, і він був достатньо пористим, щоб через нього проходила водяна пара. Ємність датчика було змінено від 45 до приблизно 70 пФ у різних частотних діапазонах для діапазону відносної вологості від 0% до 100%, і він продемонстрував швидку відповідь приблизно за 1 с для досягнення 90% вихідного значення.

Обидва копланарні типи ємнісного принципу можуть бути реалізовані на типових підкладках з кераміки, скла або кремнію. Ємнісні датчики вологості реагують на коливання вологості, змінюючи свою діелектричну проникність, і ця зміна прямо пропорційна змінам навколишньої пари. Типова мінливість ємності плівок становить 0,2–0,5 пФ для зміни відносної вологості на 1%, тоді як це значення становить від 100 до 500 пФ при 50% відносної вологості для об'ємної ємності при кімнатній температурі. Ці датчики можуть працювати

при високій температурі навколишнього середовища до 200 °С і повністю відновлюються після конденсації. Сьогодні ємнісні датчики відносної вологості представляють понад 75% доступних датчиків вологості на ринку і широко застосовуються в комерційних, промислових і метеорологічних галузях телеметрії.

Наразі кілька виробників пропонують нові конструкції паралельних пластин для ємнісних датчиків відносної вологості. Їх загальна конструкція містить паралельний пластинчастий конденсатор, затиснутий двома полімерними шарами. Верхній шар виготовлений з пористої полімерної плівки і діє як механічний фільтр для запобігання забруднення пилом, забрудненнями та маслами. Верхній електрод із тонкої плівки — це пориста платина або золото, напилене або випарене на верхній поверхні полімерної чутливої мембрани. Найнижчий шар — це товста плівка нижнього електрода, яка розташована між кремнієвою підкладкою та чутливою плівкою. У цій конструкції використовується один нижній металевий електрод, тоді як у звичайних використовуються два електроди в нижньому шарі провідника. Варіанти цієї конструкції існують без використання шару пористого полімерного фільтра.

1.5 Хмарні системи сучасності

Хмарні обчислення — це надання комп'ютерних послуг, зокрема серверів, сховищ, баз даних, мереж, програмного забезпечення, аналітики та інтелекту — через Інтернет («хмара»), щоб запропонувати швидші інновації, гнучкі ресурси та економію за рахунок масштабу. Зазвичай ви платите лише за хмарні послуги, які використовуєте, що допомагає вам знизити операційні витрати, ефективніше використовувати вашу інфраструктуру та масштабувати її відповідно до потреб вашого бізнесу.

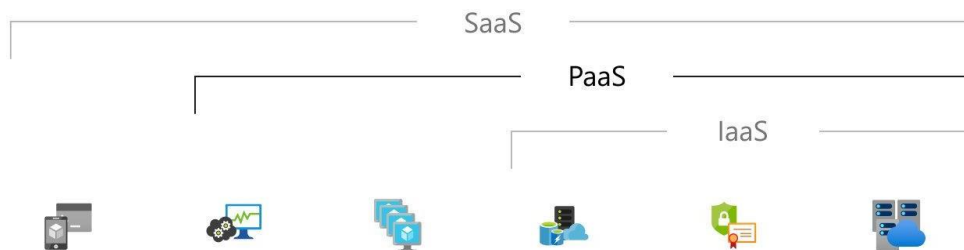


Рисунок 1.10 - Типи хмарних сервісів: IaaS, PaaS, безсерверні та SaaS

Більшість служб хмарних обчислень поділяються на чотири великі категорії: інфраструктура як послуга (IaaS), платформа як послуга (PaaS), безсерверне та програмне забезпечення як послуга (SaaS). Їх іноді називають «стеком» хмарних обчислень, оскільки вони будуються один на одному. Знаючи, що це таке та чим вони відрізняються, вам легше досягати бізнес-цілей.

Інфраструктура як послуга (IaaS)

Основна категорія послуг хмарних обчислень. З IaaS ви орендуєте ІТ-інфраструктуру — сервери та віртуальні машини (ВМ), сховище, мережі, операційні системи — у хмарного постачальника на основі оплати за використання.

Платформа як послуга (PaaS)

Платформа як послуга відноситься до хмарних обчислювальних послуг, які надають середовище на вимогу для розробки, тестування, доставки програмного забезпечення та керування ними. PaaS розроблено, щоб полегшити розробникам швидке створення веб-або мобільних додатків, не турбуючись про налаштування або керування основною інфраструктурою серверів, сховищ, мережі та баз даних, необхідних для розробки.

Безсерверні обчислення

Накладаючись на PaaS, безсерверні обчислення зосереджені на розробці функціональних можливостей програми, не витрачаючи час на постійне керування серверами та інфраструктурою, необхідною для цього. Хмарний

постачальник виконує налаштування, планування потужностей і керування сервером за вас. Безсерверні архітектури мають високу масштабованість і керуються подіями, вони використовують ресурси лише тоді, коли виникає певна функція чи тригер.

Програмне забезпечення як послуга (SaaS)

Програмне забезпечення як послуга — це спосіб доставки програмного забезпечення через Інтернет за запитом і зазвичай на основі передплати. За допомогою SaaS хмарні провайдери розміщують і керують програмним додатком і базовою інфраструктурою, а також обслуговують будь-яке обслуговування, як-от оновлення програмного забезпечення та виправлення безпеки. Користувачі підключаються до програми через Інтернет, як правило, за допомогою веб-браузера на телефоні, планшеті чи ПК.

1.6 Висновки до розділу

Серед усіх конфігурацій датчиків вологості було виявлено, що імпедансні (резистивні) та ємнісні датчики є найкраще підходящими та найпопулярнішими в передових застосуваннях, таких як лабораторні дослідження чи автоматизовані галузі. Така популярність може бути пов'язана з їхньою здатністю задовольняти загальні вимоги, такі як простіша структура, вільний вибір чутливих елементів серед різних доступних типів, вартість, адаптованість до різних типів схем, а також простота виготовлення та налаштування вимірювань.

В даний час датчики вологості на основі плівки широко застосовуються через їх переваги, такі як економічна ефективність, прийнятна прокладка, гнучкість конструкції та швидка швидкість осадження. Серед різних типів датчиків вологості заслуговують на увагу напівпровідникові датчики на основі оксиду металу та оксиду металу/полімеру, які переважно виготовляються за допомогою методів осадження товстої плівки та тонкої плівки, завдяки різноманітності вибору чутливих елементів, постобробці та кращим

характеристикам відгуку. У порівнянні з тонкоплівковими або товстоплівковими датчиками вологості на полімерній основі процес синтезу кераміки простіший, і вони часто виявляють дуже швидкий час відгуку, однак ціна полімерів нижча. Ці датчики працюють у широкому діапазоні вологості з інструментальними характеристиками відгуку.

2 ЗАСТОСУВАННЯ ДАТЧИКІВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ

2.1 Датчик вологості повітря

Майже у всіх сферах життя людини застосовуються датчики вологості. Навіть кілька таких пристроїв потрібні в побуті. Наприклад, для газону оранжереї, дитячої та ванної кімнати потрібні сенсори налаштовані до різних серед.

Найзатребуваніший тип датчика - це датчик вологості повітря (Рисунок 2.1.). Часто цей тип датчика суміщений з температурним сенсором. Цей вимірювальний пристрій, який контролює мікроклімат жилих приміщень. Це особливо актуально для дитячої та спальної кімнати. Рівень вологості 40-60% вважається для людини найкомфортнішим. При дуже сухому повітрі з'являється кашель та першіння пересихають покрови шкіри та страждають слизові оболонки носа і очей, але якщо клімат занадто вологий, він сприяє розвитку плісняви та грибків. Це погано впливає на картини, книги, меблі, а головне на здоров'я людини.

Рівень вологості залежить від опалювальних приладів, пори року, провітрювання приміщення і т.д. Датчик вологості допоможе відстежити ці зміни. Актуальними є датчики, суміщені зі зволожувачем повітря або з вентиляцією. Для вітальні або спальні найкраще підійде датчик зі зволожувачем. А для лазні, сауни або ванної кімнати підійде датчик з системою вентиляції

Сучасні датчики вологості призначені для безперервного перетворення відносної вологості неагресивного газу в два уніфіковані вихідні сигнали 4...20 мА та RS-485, а також комбінований вихідний сигнал (два канали 4...20 мА та RS-485 (Modbus RTU)). Існують різні варіанти конструктивного та кліматичного виконання: від офісного до промислового, у т. ч. призначеного для роботи у важких умовах при високих температурах (до +120°C). Корпус сучасного датчику - ергономічний, зручність монтажу та експлуатування. Є

також можливість заміни зонду з сенсором та/або фільтра зонду датчика. Такий датчик характеризується високою повторюваністю ($\pm 0,1\%RH$, $\pm 0,1^\circ C$), високою точністю вимірювання, високою стабільністю (0,25 %RH на рік, 0,02 $^\circ C$ на рік), великим терміном служби.

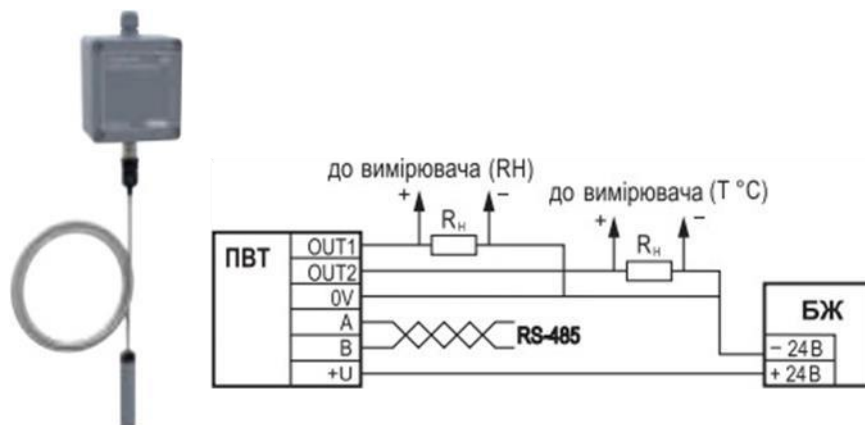


Рисунок 2.1 - Настінний датчик вологості з виносним зондом, та схема підключення датчику вологості та температури

2.2 Датчик протікання

До датчиків вологості відносять також детектори виявлення затоплення. Волога розлита на підлозі буде виявлена цим приладом.

Такі прилади встановлюють за пральною машиною, бочком унітазу, ванною, під раковиною та в місцях розгалуження труб і т.д. Принцип роботи дуже простий – він не реагує у сухому стані, а як тільки волога потрапляє на нього, він подає сигнал, замикаються полюси електродів і надсилається запит на припинення подачі води та оповіщення.

Датчик вологості, з'єднаний з автоматичними вентилями, не тільки виявить розлив води, але і перекриє її подачу. Це дуже важлива система, якщо ви не маєте прямого доступу до квартири, коли надовго її залишаєте. До того ж покриття для сенсорів можуть контролювати літніх людей та дітей, які залишаються надовго без нагляду. Вони можуть затопити приміщення навіть через неухважність.

Частіш за все це невеликий датчик, який можна розмістити під трубами, в важкодоступному місці. Як правило, кілька приладів входить до комплекту або купується додатково – датчик, блок керування та запірна арматура. Важливі всі ці елементи, але саме датчик подає сигнал про можливий витік, сигналізуючи на блок керування, який закриває прорив та сигналізує про поломку. Існує два види підключення – бездротове та провідне. Сигнал подається як по радіоканалах, так і по дротах. Сенсор вчасно зреагує, з якого б боку не утворилася б теча. Однієї батареї вистачає на п'ять років роботи. Корпус датчика обов'язково водонепроникний. Його не потрібно розбирати, щоб налаштувати або змонтувати. Пристрій готовий до роботи з самого початку.

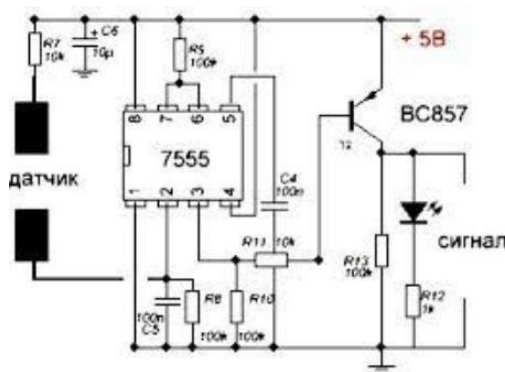


Рисунок 2.2 - Схема підключення датчику протікання

2.3 Датчик дощу

До датчиків вологості відносять також датчики дощу (Рисунок 2.3.). В більшості випадків він використовується в автомобілях (встановлюється на лобове скло, внутрішню поверхню, порч із дзеркалом заднього виду). Пристрій складається з фотодіода і світлодіода. Дуже простий принцип дії: світлодіод випромінює світло яке не видиме оку людини, яке частково відбивається від поверхні лобового скла та вертається на фотодіод, а фотодіод вже відзначає рівень зволоженості скла. У програмі пристрою є параметри заломлення світла для вологих і сухих поверхонь, завдяки їм пристрій визначає, коли потрібно включати «двірники».

Якщо сухе скло, то на приймач повертається багато світла. Якщо скло брудне або мокре – світла повертається мало і датчик посилає сигнал для очищення скла. Пристрій датчика дощу складається з блоку реле. Блок управління системою є зв'язком фотодіода та світлодіода. А блок реле відповідає за управління механізмів щіток та є виконавцем в цій системі. А також блок реле захищає систему від перешкод та перепадів напруги. Він встановлюється там, де зручніше підвести живлення.

Під час їзди водієві не потрібно переводити погляд від дороги для регулювання руху склоочисників, а це знижує ризик ДТП і робить їзду більш комфортною при несприятливих метеорологічних умовах.



Рисунок 2.3 - Датчик дощу (погодний модуль)

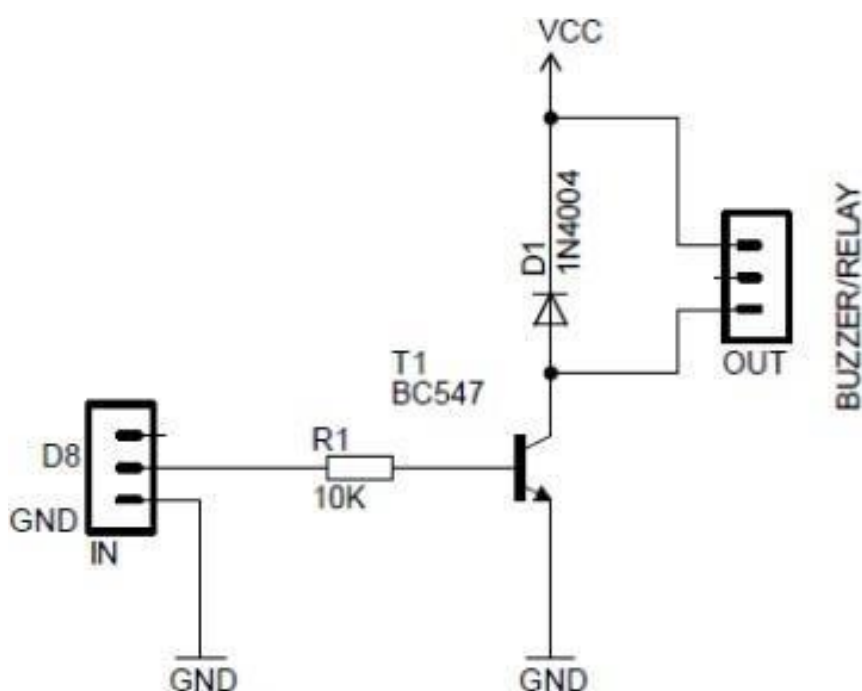


Рисунок 2.4 - Схема підключення датчику дощу

2.4 Датчик вологості ґрунту

При конструюванні системи автоматичного поливу для присадибної ділянки або для невеликого садівничого підприємства важливим компонентом є пристрій контролю стану ґрунту і наявності опадів. Адже зовсім нема чого зайвий раз включити насосну станцію, щоб та качала воду і зрошувала і без того вологий ґрунт. Більш того, було б непогано організувати більш гнучке регулювання інтенсивності включення поливу. Датчик вологості призначений для забезпечення контролю за рівнем вологості ґрунту і здійснення управління процесом поливу. Подібного роду компоненти значно спрощують процес зрошення, виключаючи необхідність виконання самостійно контролю за опадами, їх інтенсивністю і кількістю.

Такий датчик вологості схожий на зонд, а його кінець занурює в ґрунт. Електроди вимірюють рівень вологості землі. Таким чином пристрій зрозуміє чи потребує додаткового поливу грядка (горщик з розсадою, газон ...). Коли ґрунт сухий, між електродами збільшується опір, і датчик вмикає авто полив. Так само цей сенсор відключить оприскувачі, щоб від надмірної волого не загинули рослини.



Рисунок 2.5 - Модуль вимірювання ґрунту або різних сипучих матеріалів

Місце установки вибирається, виходячи з важливості рослин. Тобто ті, яким найбільш часто потрібно водяна підживлення. Розміщується пристрій безпосередньо в зоні коренів і не далі 300 м від контролера. Для оптимальної роботи системи поливу настройка датчика повинна проводитися прямо на місці його установки. Управління гранично просте і не вимагає специфічних навичок для настроювання.

2.5 Висновки до розділу

В даному розділі розглянуто застосування датчиків температури та вологості. Майже у всіх сферах життя людини застосовуються датчики вологості. Навіть кілька таких пристроїв потрібні в побуті. Наприклад, для газону оранжереї, дитячої та ванної кімнати потрібні сенсори налаштовані до різних серед. Найзатребуваніший тип датчика - це датчик вологості повітря. Часто цей тип датчика суміщений з температурним сенсором. Цей вимірювальний пристрій, який контролює мікроклімат жилих приміщень.

Сучасні датчики вологості призначені для безперервного перетворення відносної вологості неагресивного газу в два уніфіковані вихідні сигнали 4...20 мА та RS-485, а також комбінований вихідний сигнал (два канали 4...20 мА та RS-485 (Modbus RTU)). Існують різні варіанти конструктивного та кліматичного виконання: від офісного до промислового, у т. ч. призначеного для роботи у важких умовах при високих температурах (до +120°C). Корпус сучасного датчику - ергономічний, зручність монтажу та експлуатування. Є також можливість заміни зонду з сенсором та/або фільтра зонду датчика. Такий датчик характеризується високою повторюваністю ($\pm 0,1\%RH$, $\pm 0,1^\circ C$), високою точністю вимірювання, високою стабільністю (0,25 %RH на рік, 0,02 °C на рік), великим терміном служби.

3 ЧАСТОТНІ ПАРАМЕТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ

Транзисторні структури, які мають від'ємний диференційний опір, можна використати в якості первинних перетворювачів температури, при цьому значно підвищити їх точність вимірювання та чутливість. Конструктивно виконуються вони у вигляді структури, яка складається із двох біполярних транзисторів, причому в електричну схему можливо включити термочутливий напівпровідниковий або металевий опір, що значно розширює діапазон вимірюваних температур. Для вивчення властивостей частотних термочутливих перетворювачів необхідно розробити математичні моделі, на базі яких є можливість отримати залежність вольт-амперної характеристики, реактивної і активної складових повного опору структури, генерації частоти від дії температури, від режимів живлення, виконати експериментально дослідження, які б підтвердили справедливість теоретичних положень.

3.1 Розрахунок повного опору на основі біполярних транзисторів з активним індуктивним елементом

Виконання температурного перетворювача у вигляді інтегральної схеми потребує використання плівкової технології для виготовлення пасивного індуктивного елемента у вигляді спіралі, проте її добротність має невелике значення і, по-друге, її розміри на частотах до 10^6 Гц несумісні з розмірами схеми інтегральної перетворювача. Тому для вирішення цієї проблеми запропоновано використати індуктивний характер повного опору біполярного транзистора з RC-колом, яке досить легко виконується у вигляді інтегральної схеми. Отже, схема частотного перетворювача температури з індуктивним активним елементом подана на рис.3.1. Термочутливі біполярні транзистори

VT1, VT2 і VT3 реалізують генератор електричних коливань, в якому коливальний контур конструктивно представлений ємнісною складовою повного опору на електродах колектор-колектор термочутливих біполярних транзисторів VT1 і VT2 та індуктивною складовою повного опору на електродах емітер-колектор термочутливого біполярного транзистора VT3. Таким чином, при взаємодії температури на термочутливі транзистори VT1, VT2 і VT3 змінюється як ємність, так і індуктивність коливального контуру генератора, що значно підвищує чутливість і точність виміру температури, при цьому така схема перетворювача повністю реалізовано у вигляді інтегральної схеми.

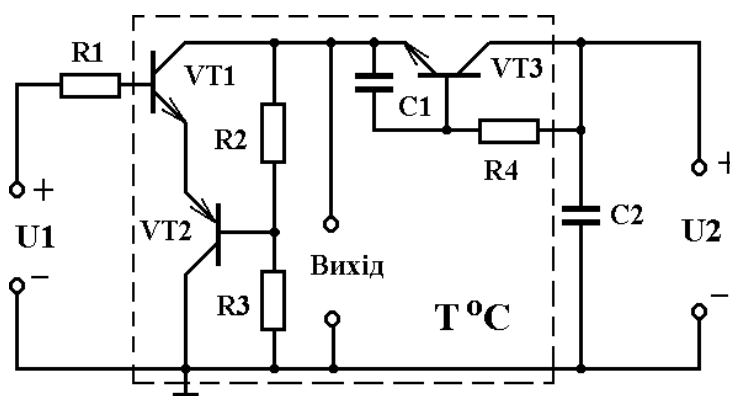


Рисунок 3.1 – Схема частотного перетворювача температури

Залежність параметрів еквівалентної схеми біполярних транзисторів VT1 і VT2, які утворюють ємність коливального контуру від дії температури. Значення індуктивності на основі біполярного транзистора з RC- колом, має вигляд

$$L = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{A_4 A_1 - A_3 A_2}{A_1^2 + A_2^2}, \quad (3.1)$$

$$\text{де } A_{1=\omega} C \left[(r_{\delta} - R\alpha_1)^2 - (R\alpha_2)^2 + \frac{1}{(\omega C)^2} \right],$$

$$A_2 = \omega C [2R\alpha_2(r_{\bar{o}} - R\alpha_1)],$$

$$A_3 = \left[R\alpha_1(r_{\bar{o}} - R) + r_{\bar{o}} \frac{R^2 - 2R^3\alpha_1}{r_K} + \frac{R^2\alpha_2^2}{(\omega C)^2} \right],$$

$$A_4 = \left[2R\alpha_1\alpha_2 - r_{\bar{o}}R\alpha_2 + \frac{2R^3}{r_K}\alpha_2 \right],$$

$\alpha_1 = \frac{\alpha_0}{1 + (f/f_{\alpha})^2}$ - дійсна складова коефіцієнта передачі струму у схемі із

загальною базою,

$\alpha_2 = \frac{\alpha_0 f / f_{\alpha}}{1 + (f/f_{\alpha})^2}$ - уявна складова коефіцієнта передачі струму у схемі із

загальною базою,

f_{α} - гранична частота біполярного транзистора у схемі із загальною

базою,

f - робоча частота.

Добротність індуктивності визначається формулою

$$Q = \frac{(A_4 A_1 - A_3 A_2) \omega C}{\omega C (A_3 A_1 + A_4 A_2) - (A_1^2 + A_2^2)}. \quad (3.2)$$

Формули (3.1) і (3.2) отримані при умові $r_K \gg R$, $R \gg r_{\bar{o}}$, $r_{\bar{o}} \gg r_e$.

Взаємодія температури на індуктивність і добротність визначається через залежність $r_{\bar{o}}, \alpha_1, \alpha_2, r_K$, як показує аналіз (3.1) і (3.2). Залежність опору R і ємності C , які утворюють коло зворотного зв'язку у біполярному транзисторі VTЗ, також треба враховувати.

Розглянемо залежність вищенаведених параметрів від температури. Залежність α_1 і α_2 від температури визначається через температурну залежність складових, які входять в їх аналітичний вираз

$$\alpha_{1,2} = - \frac{1 - W_0^2}{L_{p\bar{\sigma}}}, \quad (3.3)$$

де W_0 - ширина бази, $\rho_e, \rho_{\bar{\sigma}}$ - питомий опір області емітера і бази, $L_{p\bar{\sigma}}$ - дифузійна довжина дірок в області бази і електронів у області емітера.

Якщо прийняти, що W_0 не залежить від температури, $L_{p\bar{\sigma}}$ і L_{ne} незначно змінюються від температури, ρ_e практично не залежить від температури, а $\rho_{\bar{\sigma}}$ значно збільшується зі зростанням температури. Присумувавши усі ці фактори, можна сказати, що при збільшенні температури величини α будуть зростати, що підтверджуються експериментальними дослідженнями. Залежність опору R і внутрішнього активного опору бази $r_{\bar{\sigma}}$ від температури описується в такий спосіб: питомий опір базового матеріалу зростає з температурою, а активний внутрішній опір бази відповідно до $r_{\bar{\sigma}} = \rho_{\bar{\sigma}}/W_0$ спрощеної формули знаходиться у залежності від питомого опору базового матеріалу, отже, він також буде зростати.

Залежність граничної частоти в схемі із загальною базою виражаються формулою

$$f_x = \frac{1,22kT\mu_n}{\pi q W_{ef}^2}, \quad (3.4)$$

де k – стала Больцмана, T - температура, μ_n - рухливість електронів, W - ефективна товщина бази, q - заряд електрона.

З формули (3.4) видно, що f_{α} - пропорційна температурі T і рухливості носіїв заряду, яка зменшується із зростанням температури за законом $T^{-3/2}$. Таким чином, загальний ефект буде такий, що f_{α} буде зменшуватись зі

збільшенням температури. Ємність C кола зворотного зв'язку біполярного транзистора VT3 можемо вважати, що не залежить від температури, тому що вона виготовлена на основі SiO_2 .

Таким чином, визначивши залежність всіх складових від температури, що входять у формули (3.1) і (3.2), можна отримати залежність добротності і індуктивності від температури. Слід зауважити, що формули (3.1) - (3.4) не зовсім точно описують залежність активної індуктивності і добротності від температури, тому що необхідно врахувати залежність ємнісної складової від температури, а також врахувати вплив складових активних повних опорів, які входять як в ємнісну, так і в індуктивну складові повних опорів на електродах колектор-колектор VT1 і VT2, та на електродах емітер-колектор VT3. Тому необхідно розрахувати повні опори і на їх основі можемо отримати функцію перетворення і чутливості.

Еквівалентна схема перетворювача, яка містить елементи, що залежать від температури, подана на рис.3.2. Для зручності розрахунків перетворимо її у більш компактну (рис.3.3). Система рівнянь Кірхгофа, згідно рис.3.3, має вигляд

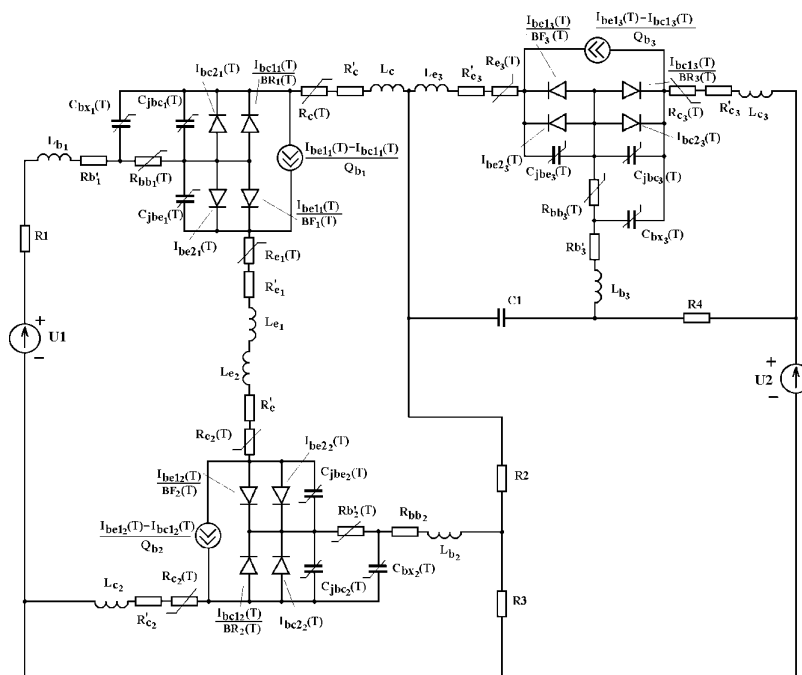


Рисунок 3.2 – Еквівалентна схема перетворювача температури

$$\begin{aligned}
Z_{R3} &= R_3; & Z_1 &= R'_b + j\omega L_b; & Z_2 &= -j/\omega C_{bx}(T); \\
Z_3 &= R_{bb}(T); & Z_4 &= -j/\omega C_{jbc}(T); & Z_5 &= -j/\omega C_{jbe}(T); \\
Z_6 &= R'_b + R; & Z_7 &= R'_b + R; & Z_1 &= Z_{14} = Z_{15}; \\
Z_2 &= Z_{13} = Z_{16}; & Z_3 &= Z_{12} = Z_{17}; & Z_4 &= Z_{10} = Z_{18}; \\
Z_5 &= Z_9 = Z_{19}; & Z_6 &= Z_8 = Z_{20}; & Z_7 &= Z_{11} = Z_{21}.
\end{aligned}$$

Розв'язок системи рівнянь (3.5) проведено числовим методом на персональному комп'ютері. Вплив температури на еквівалентні індуктивність та ємність коливального контуру передається через зміну параметрів елементів еквівалентної схеми, тому функція перетворення описується рівнянням

$$F_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2(C_{jbe}(T) + C_{jbc}(T))}{C_{jbe}(T)C_{jbc}(T)L_{екв}(T)}}}. \quad (3.6)$$

Чутливість частотного перетворювача температури з активним індуктивним елементом визначається на основі (3.6)

$$S_T = \frac{1}{4} \sqrt{2} \left[\frac{\frac{\partial C_{jbe}(T)}{\partial T} + \frac{\partial C_{jbc}(T)}{\partial T}}{C_{jbe}(T)C_{jbc}(T)L_{екв}(T)} - \frac{A_1 \left(\frac{\partial C_{jbe}(T)}{\partial T} \right)}{C_{jbe}(T)^2 C_{jbc}(T)L_{екв}(T)} \right. \\
\left. - \frac{A_1 \left(\frac{\partial C_{jbc}(T)}{\partial T} \right)}{C_{jbe}(T)C_{jbc}(T)^2 L_{екв}(T)} - \frac{A_1 \left(\frac{\partial L_{екв}(T)}{\partial T} \right)}{C_{jbe}(T)C_{jbc}(T)^2 L_{екв}(T)} \right] \bigg/ \pi \sqrt{\frac{2A_1}{C_{jbe}(T)C_{jbc}(T)L_{екв}(T)}}} \quad (3.7)$$

де

$$A_1 = C_{jbe}(T) + C_{jbc}(T).$$

Теоретична і експериментальна залежності частоти генерації від температури подані на рис.3.4. На рис.3.5 наведені теоретичні та експериментальні залежності частоти генерації від напруги живлення. Чутливість частотного перетворювача складає $5 \text{ кГц}/^{\circ}\text{C}$ (рис.3.6). Експериментальні дослідження проводились за стандартною методикою.

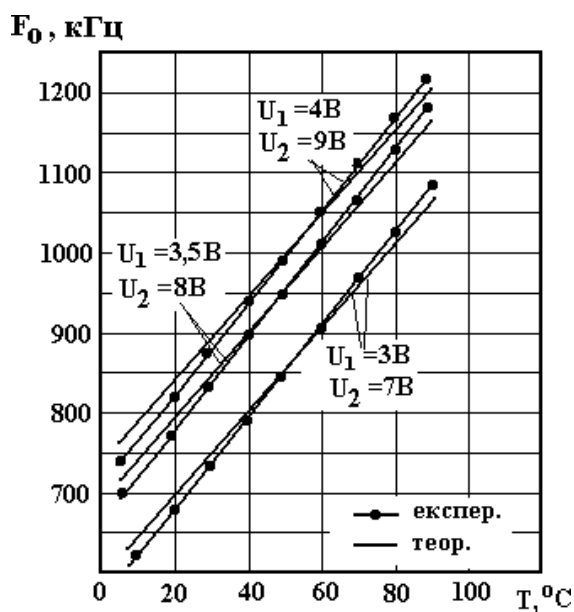


Рисунок 3.4 – Теоретичні і експериментальні залежності частоти генерації від температури

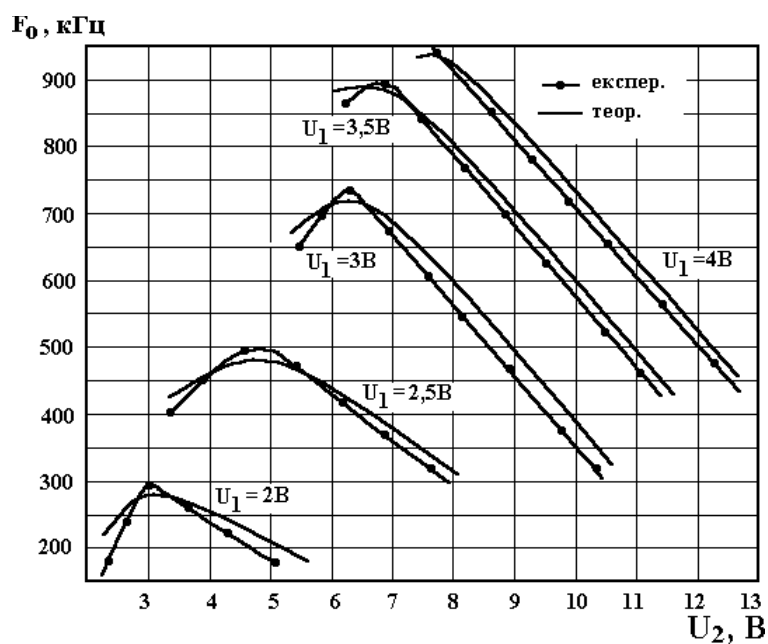


Рисунок 3.5 – Теоретичні та експериментальні залежності частоти генерації від напруги живлення

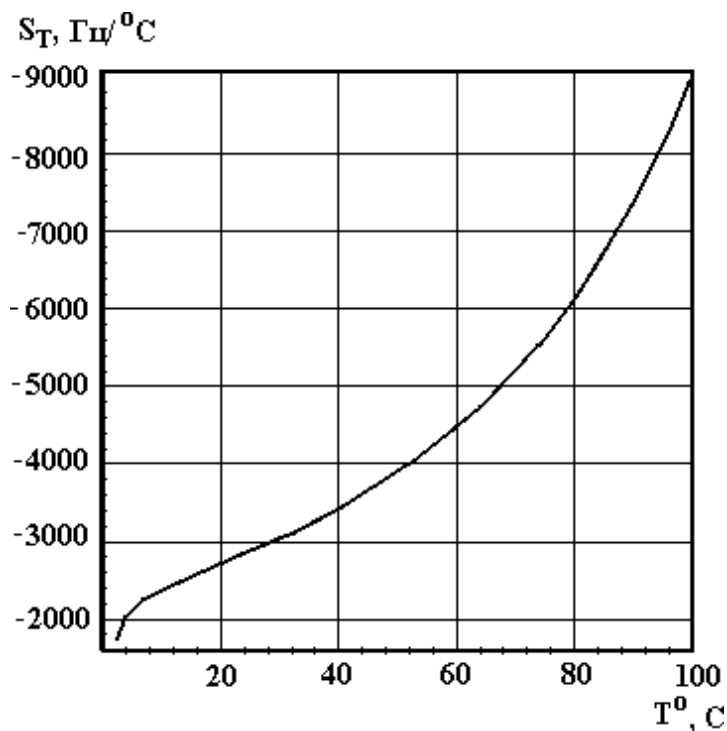


Рисунок 3.6 – Залежність чутливості перетворювача з активною індуктивністю від температури

3.2 Математична модель параметричних перетворювачів вологості з частотним виходом.

В останні роки вдосконалення технологій виготовлення сенсорів фізичних величин змінювалось за рахунок швидкісних, малопотужних та недорогих мікроелектронних інтегральних схем подальшої обробки, сучасних методів отримання та оброблення інформативних сигналів, а також досягнення технологій мініатюризації. Послідовне підвищення якості та надійності первинних параметричних перетворювачів фізичних величин важливо для комерційної конкурентної спроможності. На даний час методи моделювання та автоматизованого проектування сенсорів успішно використовуються для прогнозування та покращення вихідних параметрів радіоелектронних схем первинних параметричних перетворювачів перед виходом у масове виробництво, даючи можливість заощадження часу і підвищення якості. Мікромініатюризація сенсорних пристроїв надає численні

переважність, таку як низький гістерезис, пакетне оброблення, простота інтеграції в поєднанні із наступним зменшенням витрат. Широке застосування первинних параметричних сенсорів вологості знайшли як в інтелектуальних системах так і в різних галузях промислової індустрії.

3.2.1 Аналіз останніх досліджень і публікацій

Використання первинних перетворювачів вологості в частотних пристроях, в яких вологість перетворюється у частоту, дозволяє значно підвищити точність та чутливість вимірювання вологості, спрощення схеми подальшої обробки інформації. В цьому випадку потрібно використовувати вологочутливий елемент у вигляді ємності, який є найоптимальнішим за сукупністю параметрів. Даний елемент забезпечує високу надійність, широкий діапазон вимірювань та низьку вартість при використанні мікроелектронної технології, яка дозволяє розробляти ємності планарного типу плівковим методом. Завдяки цьому маємо малі габарити чутливого елемента, можливість розташування на кристалі спеціальної інтегральної схеми обробки сигналу. Таким чином, для вимірювання вологості ємнісний метод є одним із найкращих.

Схема генератора синусоїдальних коливань на базі складового транзистора приведена на рис.3.7. Він складається з резонатора, що визначає частоту генерації, підсилювача потужності і ланцюга зворотного зв'язку. Підсилювач утворений транзисторами VT1 і VT2. Вхідний опір складового транзистора в схемі із загальною базою має індуктивний характер і разом із ємністю C_1 утворює коливальний контур, що є резонатором. Для транзистора коефіцієнт підсилення по струму у визначеному частотному діапазоні має значення більше одиниці, що приводить до позитивного значення коефіцієнта зворотного зв'язку. Зворотний зв'язок по напрузі визначається в складовому транзисторі сильніше, ніж в одиночного транзистора і це значною мірою зменшує самозбудження схеми. Для експериментального дослідження схема

параметричного перетворювача вологості (рис.3.7) була зібрана на транзисторній збірці BC847BDW1. Режим транзисторів VT1 і VT2 по постійному струму був таким: струм у ланцюзі емітера транзистора VT1 дорівнює 5,5 мА, а в ланцюзі емітера VT2 дорівнює 2,5 мА, напруга на колекторі – 5 В. Зовнішній базовий опір дорівнював 6 кОм. Цьому режиму відповідала частота генерації 760 кГц. При величині напруг живлення і опорів, схема генератора працювала в нормальному режимі, що відповідає синусоїдальній формі вихідної напруги. Описана схема генератора дозволяє отримати вихідну напругу до 15 В у широкому діапазоні частот. Нестабільність частоти дорівнює $2 \cdot 10^{-4}$ Гц.

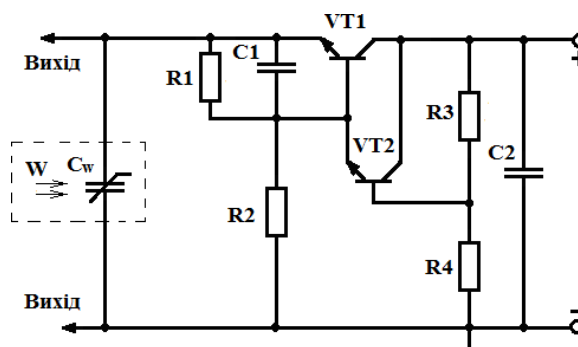


Рисунок 3.7 – Електрична схема перетворювача вологості з частотним виходом

Параметричний перетворювач вологості з частотним виходом розроблено на основі біполярної транзисторної структури (VT1, VT2), що утворює активну індуктивність з динамічним від'ємним опором, яка з вологочутливим конденсатором C_w утворює коливальний контур перетворювача. Конденсатор C_1 та резистор R_3 утворюють фазозсувним колом. Схема вводиться в режим за допомогою джерела постійної напруги, коли на електродах емітер першого біполярного транзистора VT1 та база другого біполярного транзистора VT2 виникає динамічний від'ємний опір, який приводить до виникнення електричних коливань в контурі.

Резистори R_1 , R_2 , R_3 та R_4 забезпечують живлення схеми за постійним струмом, причому електричне живлення біполярної структури транзисторів (VT1, VT2) залежить від величини зміни ємності вологочутливого конденсатора C_W за зміни вологості навколишнього середовища. Крім того, конденсатор C запобігає проходженню змінного струму через джерело постійної напруги. При дії вологи на вологочутливий конденсатор C_W змінюється ємнісна складова опору на електродах база другого біполярного транзистора VT2 та емітер першого біполярного транзистора VT1, що викликає ефективну зміну частоти коливального контуру.

Також були проведені дослідження ємнісних вологочутливих елементів гребінцевої структури, створених на основі гігроскопічних солей NaCl та BaCl₂ із захисним полімерним покриттям. Залежність ємності вологочутливого елемента від відносної вологості навколишнього середовища можна описати таким виразом:

$$C = \left(\theta^a \lg \varepsilon_{\text{коли}} + \varepsilon_{\text{пол}} \left(1 + \frac{(1-\xi)}{1 - \frac{(1-\xi)}{3} + \frac{\varepsilon_{\text{пол}}}{\varepsilon_{\text{пол}}}} \right)^{\varepsilon} \right) + \delta k \left(p_s - A \right) \quad (3.8)$$

$$\text{де} \quad \theta = \frac{S_M \sigma_{\text{коли}}}{S_M \sigma_{\text{коли}} + \frac{G \chi}{\rho_{H_2O}}} ;$$

$$\xi = \frac{S_{\text{пол}} d_{\text{пол}}}{S_{\text{пол}} d_{\text{пол}} + V_{H_2O}} ;$$

$$A_1 = 3(d_{\Pi} / a)^{0,25} (b / d_{\Pi})^{0,44} ; A_2 = 0,77b / [(2N - 1)(a + b)] + 0,41 .$$

S_M – площа меандру, мм^2 ; $\sigma_{\text{соли}}$ – товщина сольового покриття, мкм ; G – маса сухого повітря, г ; χ – величина, яка враховує зв'язок між масовим відношенням вологи і тиском пари; $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ – густина води, г/см^3 ; $\varepsilon_{\text{соли}}$ – діелектрична проникність солі; $\varepsilon_{\text{пол}}$ – діелектрична проникність поліметилметакрилату; $S_{\text{пол}}$ – площа поліметилметакрилату; $d_{\text{пол}}$ – товщина шару поліметилметакрилату; V_{H} – об'єм води; ε_{H} – діелектрична проникність води; $\varepsilon_{\text{п}}$ – діелектрична проникність підкладки; δ – відносна маса водяної пари по відношенню до сухого повітря при однакових тисках і температурах; $k = 1 \div 5$; $b = 0$, при умові, що $a < b$; p_s – тиск насиченої пари при температурі T ; Па; A – психрометрична стала, яка при $T_w = 20$ °С становить 0,00064; P – тиск повітря 101,325 кПа (760 мм рт.ст.); T – температура навколишнього середовища, °С; T_w – температура вологого термометра, °С; ε_0 – діелектрична стала вакууму, Ф/м; l, a, b – величини, які враховують геометрію конденсатора, мм; N – число секцій.

На основі виразу (3.8) аналітично отримано графічні залежності ємності вологочутливого елемента від відносної вологості, які подано на рис. 3.8.

З графіків видно, що в діапазоні відносної вологості від 30 % до 100 %, діапазон зміни ємності для вологочутливого елемента на основі NaCl становить від $0,030 \cdot 10^{-8}$ Ф до $3,9 \cdot 10^{-8}$ Ф, а для двошарової структури на основі NaCl+полімер – від $0,125 \cdot 10^{-8}$ Ф до $3,9 \cdot 10^{-8}$ Ф. Для вологочутливого елемента на основі BaCl₂ – діапазон зміни ємності становить від $0,060 \cdot 10^{-8}$ Ф до $3,9 \cdot 10^{-8}$ Ф, а для двошарової структури на основі BaCl₂+полімер – від $0,130 \cdot 10^{-8}$ Ф до $3,9 \cdot 10^{-8}$ Ф.

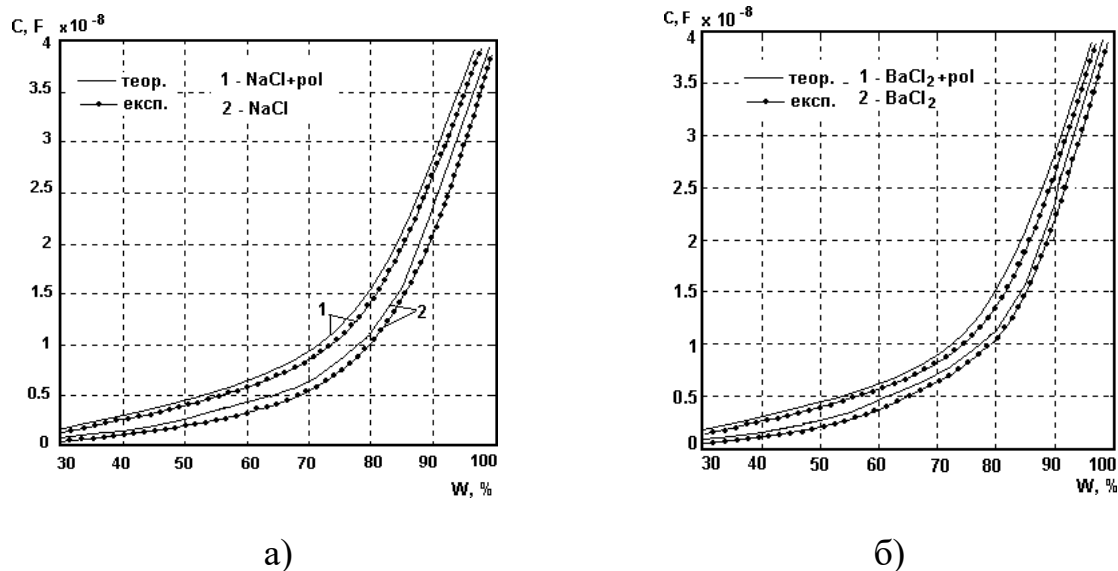


Рисунок 3.8 – Теоретичні та експериментальні залежності ємності вологочутливих елементів від зміни відносної вологості повітря, виготовлених: а – на основі NaCl+полімер та NaCl; б – на основі BaCl₂+полімер та BaCl₂

Експериментальні дослідження визначили, що створення захисного шару з метою запобігання випадіння точки роси знизило діапазон зміни ємності. Крім того, ці елементи працюють тільки в обмеженому діапазоні відносної вологості, а саме нижче точки роси. Тому для вирішення цієї проблеми, як вологочутливий шар ємнісного елемента, було використано гетерометалеві комплексні сполуки – стибій або бісмутвмісні діоксиди ніколу (II). Ці сполуки практично нерозчинні в спиртах, ацетоні, бензині, погано розчинні в диметилформаміді і диметилсульфоксиді. Однак є гігроскопічними і змінюють забарвлення із зміною відносної вологості навколишнього середовища.

Залежність ємності вологочутливих елементів, виготовлених на основі комплексних сполук, від відносної вологості навколишнього середовища можна описати таким виразом:

$$C = \left(\Omega^a \lg \varepsilon_{\text{К.С.}} + \varepsilon_{\text{П}} + 1 + \delta k \left(\frac{p_s - AP(T - T_w)}{P - (p_s - AP(T - T_w))} \right) \right) \left(1 - \Omega^b \right) \lg \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}} \varepsilon_0 l [2A(N-1) + A], \quad (3.9)$$

$$\text{де } \Omega = \frac{S_M \sigma_{K.C.}}{S_M \sigma_{K.C.} + \frac{G}{\rho_{H_2O}}} ;$$

$\sigma_{K.C.}$ – товщина нанесеного шару комплексної сполуки, мкм; $\epsilon_{K.C.}$ – діелектрична проникність комплексної сполуки.

На основі аналітичного виразу (3.9) отримано графічні залежності ємності вологочутливого елемента, виготовлених на основі комплексних сполук, від відносної вологості, які подано на рис. 3.9.

На основі експериментальних досліджень встановлено, що на чутливість сенсора впливає склад комплексних сполук, а саме найчутливішим в діапазоні вологості від 7 % до 27 % є ємнісний елемент виготовлений на основі гетерометалевої комплексної сполуки II, яка містить два атома стибію. Чутливість такого ємнісного елемента набуває значення 285 пФ/%. Залежність ємності від відносної вологості, в діапазоні від 30 % до 75 %, практично лінійна, а чутливість дорівнює 135 пФ/%. В діапазоні 75...95 % спостерігається різке зростання чутливості аж до 450 пФ/% для всіх ємнісних елементів виготовлених на основі гетерометалевих комплексних сполук I – IV.

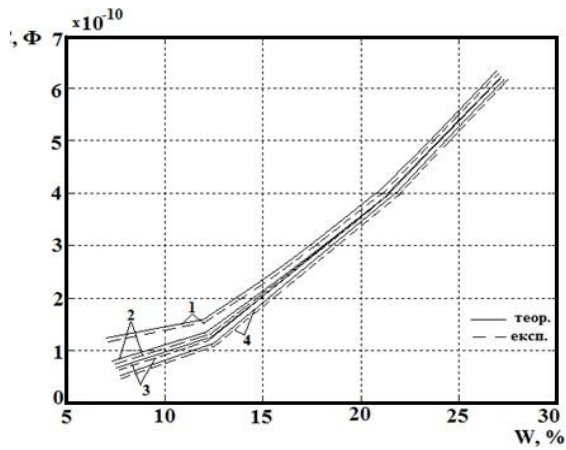


Рисунок 3.9 – Теоретичні та експериментальні залежності ємності від відносної вологості для ємнісних елементів виготовлених на основі комплексних сполук: 1 – III; 2 – IV; 3 – I; 4 – II

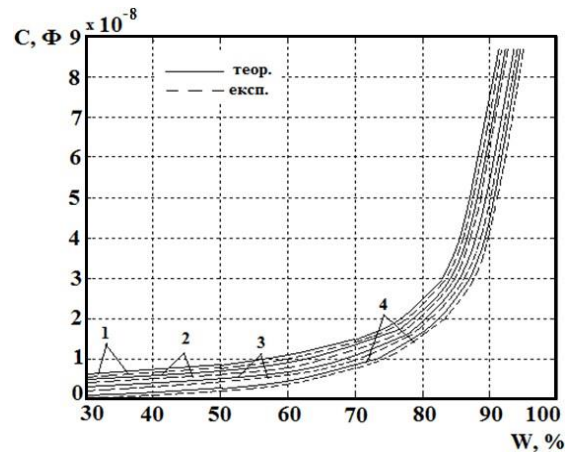


Рисунок 3.10 – Теоретичні та експериментальні залежності ємності від відносної вологості повітря для ємнісних елементів виготовлених на основі комплексних сполук: 1 – III; 2 – IV; 3 – I; 4 – II

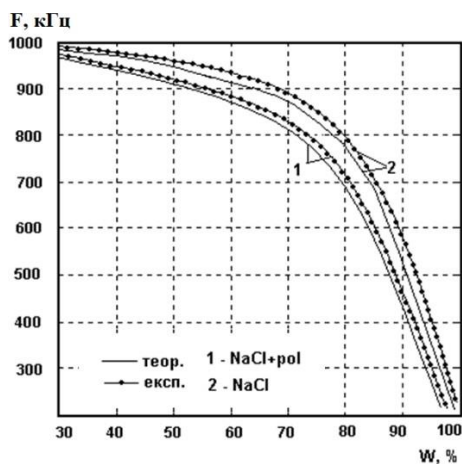
На основі електричної схеми перетворювача вологості з частотним виходом (рис.3.7) з вологочутливим конденсатором, використовуючи метод Ляпунова, по колу позитивного зворотного зв'язку визначено рівняння, на основі якого було обрано аналітичний вираз функції перетворення:

$$F = \frac{-6C_W(W) \pm 2\sqrt{9C_W^2(W) - 4R_{B2}^2 C_{EB2}^2 - 4R_{B1}^2 C_{EB1}^2}}{2\pi(4R_{B2}^2 C_{EB2}^2 + 4R_{B1}^2 C_{EB1}^2)}, \quad (3.10)$$

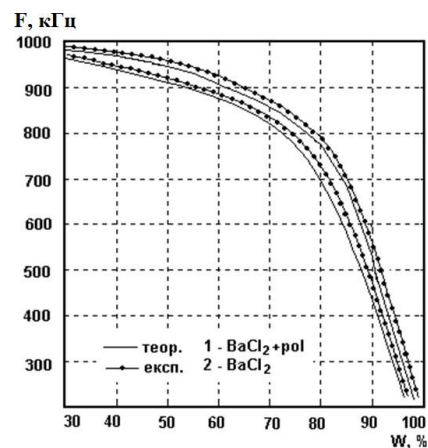
де $C_W(W)$ – ємність вологочутливого конденсатора; C_{EB1}, C_{EB2} – ємності p-n переходів емітер-база біполярних транзисторів VT1 та VT2; R_{B1}, R_{B2} – опір бази біполярних транзисторів VT1 та VT2.

Чутливість параметричного перетворювача вологості з частотним виходом з вологочутливим ємнісним елементом визначається на підставі виразу (3.10) і описується рівнянням

$$S_W^F = \frac{\left(\frac{\partial}{\partial W} C_W(W) \right) \pm 18 \frac{C_W(W) \left(\frac{\partial}{\partial W} C_W(W) \right)}{\sqrt{9C_W^2(W) - 4R_{B2}^2 C_{EB2}^2 - 4R_{B1}^2 C_{EB1}^2}}}{2\pi(4R_{B2}^2 C_{EB2}^2 + 4R_{B1}^2 C_{EB1}^2)}. \quad (3.11)$$



а)



б)

Рисунок 3.11 – Теоретичні та експериментальні залежності частоти генерації перетворювача вологості з вологочутливими елементами, виготовлених: а – на основі NaCl+полімер та NaCl; б – на основі BaCl₂+полімер та BaCl₂

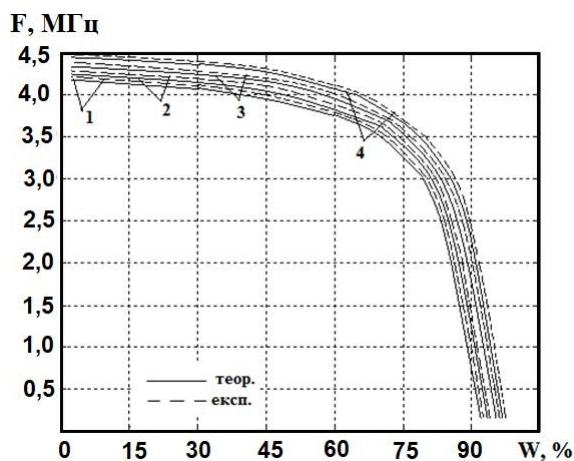


Рисунок 3.12 – Теоретичні та експериментальні залежності частоти генерації перетворювача вологості в діапазоні 7...95 % з ємнісними елементами виготовленими на основі комплексних сполук: 1 – III; 2 – IV; 3 – I; 4 – II

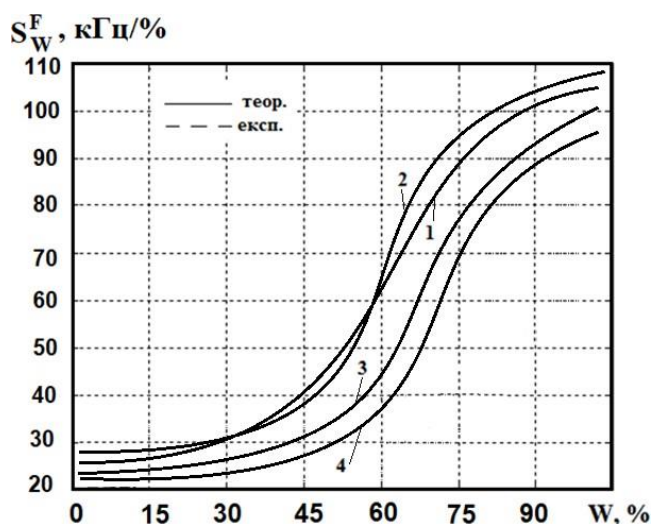


Рисунок 3.13 – Теоретичні залежності чутливості перетворювача вологості від відносної вологості повітря в діапазоні 7...95 % з ємнісними елементами виготовленими на основі комплексних сполук: 1 – III; 2 – IV; 3 – I; 4 – II

Графік залежності частоти генерації параметричного перетворювача вологості з частотним виходом від зміни вологості навколишнього середовища наведено на рис.3.11 та рис.3.12, а залежність чутливості параметричного перетворювача вологості з вологочутливим ємнісним елементом подано на рис.3.13. Як видно на рисунку, найбільша чутливість параметричного перетворювача вологості з частотним виходом для ємнісних елементів виготовлених на основі комплексних сполук (IV) та лежить у діапазоні від 60 до 95 % відносної вологості повітря і становить 62...107 кГц/%.

3.2.2 Математична модель мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом.

Новим напрямком в розробці та створенні мікроелектронних перетворювачів вологості є дослідження в області частотних перетворювачів вологості на основі транзисторних структур з від'ємним опором. Частотні

перетворювачі поєднують як простоту, так і універсальність, які властиві аналоговим пристроям, а також точність і завадостійкість характерними для перетворювачів з кодовим виходом.

Дослідження цього напрямку показали, що реактивні властивості і від'ємний опір нерозривно пов'язані між собою, а багатофункціональність і простота радіоелектронних пристроїв на основі транзисторних структур з від'ємним опором є перспективою їх практичного використання. Крім того, застосування принципу перетворення «вологість–частота» на основі транзисторних структур з від'ємним опором суттєво знижує собівартість систем контролю та управління, дозволяє зменшити масогабаритні розміри перетворювача, підвищити не тільки чутливість, а й точність перетворення інформативного сигналу – відносної вологості навколишнього середовища в частоту.

На рис. 3.14 подана електрична схема нового схемотехнічного рішення.

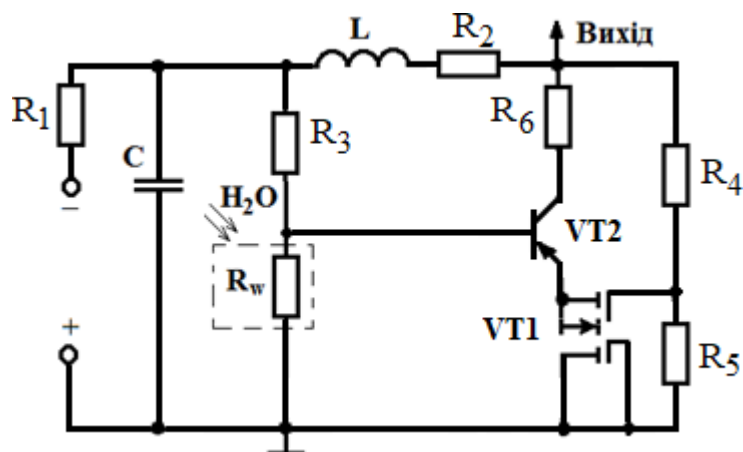


Рисунок 3.14 – Електрична схема мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом

Мікроелектронний частотний перетворювач вологості розроблено на основі транзисторної структури з від'ємним опором на основі польового двозатворного транзистора $VT1$ та біполярного транзистора $VT2$. За допомогою джерела постійної напруги створюється такий режим роботи, коли

від'ємний диференціальний опір, який утворений паралельним включенням повного опору з ємнісною складовою на електродах колектор біполярного транзистора $VT2$, стоку польового двозатворного транзистора VT та індуктивності L , приводить до виникнення електричних коливань в контурі. Дільники напруги утворюють резистори R_3 і вологочутливий резистор R_W , а також R_4 і R_5 , які забезпечують живлення схеми за постійним струмом. Електричне живлення біполярного транзисторів $VT2$ залежить від величини зміни опору вологочутливого резистора R_W зі зміною вологості досліджуваного середовища. Обмежувальний конденсатор C запобігає проходженню змінного струму через джерело постійної напруги. Резистори R_1 , R_2 та R_6 виконують функції навантаження. При дії вологи на вологочутливий резистор R_W змінюється ємнісна складова повного опору на електродах транзисторної структури на основі транзисторів VT і $VT2$, що викликає ефективну зміну частоти коливального контуру.

Для експериментального дослідження схема мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом на основі органічного полімеру (рис.3.14) була зібрана на біполярному транзисторі BC857C та польовому двозатворному транзисторі BF998. Режим транзисторів $VT1$ і $VT2$ по постійному струму був таким: струм у ланцюзі колектора транзистора $VT2$ дорівнює 6,5 мА, а напруга на колекторі – 5 В. Опори схеми мають наступні значення $R_2=0,1$ Ом; $R_3=12$ кОм; $R_4=8,2$ кОм; $R_5=5,6$ кОм; $R_6=100$ Ом. Індуктивність автогенератора складає 100 мкГн. Цьому режиму, при нульовій вологості, відповідає частота генерації 760 кГц. Описана схема генератора дозволяє одержати вихідну напругу до 45 В у широкому діапазоні частот. Нестабільність частоти дорівнює $2 \cdot 10^{-4}$ Гц.

Для визначення електричних характеристик мікроелектронного частотного перетворювача вологості, в яких враховано залежність реактивних властивостей напівпровідникових структур з від'ємним опором від впливу

відносної вологості навколишнього середовища, розроблено еквівалентну схему перетворювача, яку подано на рис. 3.15.

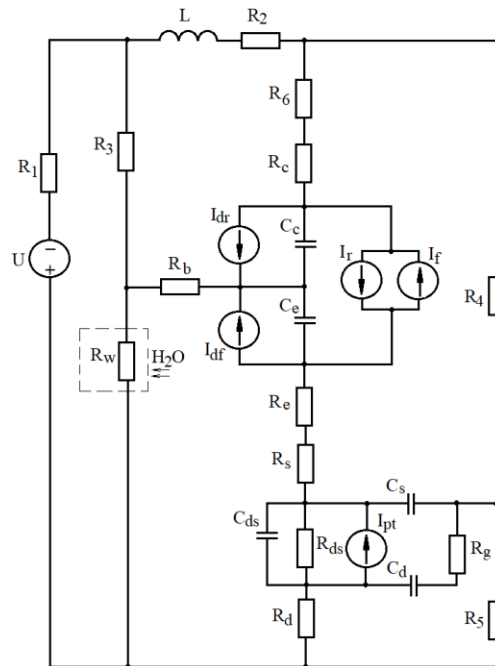


Рисунок 3.15 – Еквівалентна схема мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом

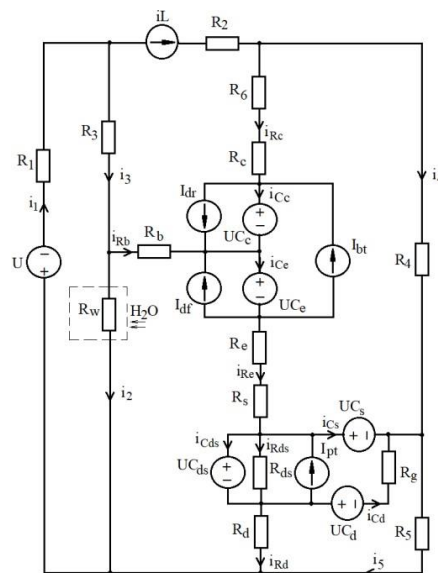


Рисунок 3.16 – Перетворена еквівалентна схема мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом

Для зручності розрахунків, об'єднавши струми I і I_r у $I_{bt} = (I - I_r)$, а також скориставшись методом змінних стану, на рис. 3. подано перетворену еквівалентну схему розробки.

На основі вибраних напрямків струмів було складено систему рівнянь Кірхгофа:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_L = i_{R_b} R_b + i_3 R_3 - i_L R_2 - i_{R_c} (R_c + R_6) - U_{C_c}, \\ i_{R_{ds}} = \frac{U_{C_{ds}}}{R_{ds}}, \\ i_{C_d} = \frac{U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_d}}{R_g}, \\ i_{R_b} = \frac{i_2 R_W - U_{C_c} - U_{C_{ds}} - i_{R_d} R_d - i_{R_e} (R_e + R_s)}{R_b}, \\ i_{C_{ds}} = \frac{i_{R_d} + i_{C_d} + I_{pt} - i_{R_{ds}}}{i_4 R_4 - U_{C_c} - U_{C_s} - U_{C_e} - i_{R_e} (R_e + R_s)}, \\ i_{R_c} = \frac{R_c + R_6}{U_{C_d} + i_5 R_5 + i_{C_d} R_g}, \\ i_{R_d} = \frac{U_{C_d} + i_5 R_5 + i_{C_d} R_g}{R_d}, \\ i_{R_e} = i_{R_c} + i_{R_b}, \\ i_{C_s} = I_{pt} + i_{R_e} - i_{R_{ds}} - i_{C_{ds}}, \\ i_3 = i_1 - i_L, \\ i_{C_c} = I_{bt} + i_{R_c} - I_{dr}, \\ i_{C_e} = I_{bt} + i_{R_e} + I_{df}, \\ i_5 = i_4 + i_{C_s} + i_{C_d}, \\ i_2 = i_3 - i_{R_b}, \\ i_4 = i_L - i_{R_c}, \\ i_1 = \frac{-(U + i_3 R_3 + i_2 R_W)}{R_d}, \end{array} \right. \quad (3.12)$$

де R_1 – внутрішній опір джерела постійної напруги; R_2, R_6 – навантажувальні опори; R_3, R_4, R_5 – опори діляників напруги; $R_b, R_e, R_c, R_g, R_d, R_s$ – об'ємні опори бази, емітера, колектора, затвору, стоку та витоку; R_{ds} – опір стік-витік; C_e, C_c – ємності емітерного та колекторного

переходів; C_d , C_s , C_{ds} – ємності затвор-стік, затвор-витік та стік-витік; R_W – вологочутливий резистор; L – індуктивність; U – джерело живлення постійної напруги; I_{pt} – струм польового транзистора; I_{dr} , I – струми внутрішніх переходів база–колектор та база–емітер; I , I_r – прямий та зворотній струми біполярного транзистора.

Вважаючи заданими значення відповідних напруг на ємностях та струм через індуктивність, розв’яжемо систему рівнянь (3.12) відносно U_L , $i_{C_{ds}}$, i_C , i_{C_c} .

$$\left\{ \begin{array}{l} U_L = A_{13} \cdot R_b + \left(\frac{-U + i_L \cdot (R_W + R_3) + A_{13} \cdot R_W}{A_6} \right) \cdot R_3 - i_L \cdot (R_3 + R_2) - A_{15} \cdot A_1 - U_{C_c}, \\ i_{C_d} = \frac{U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_d}}{R_g}, \\ i_{C_{ds}} = A_{14} + \frac{A_3}{R_g} + I_{pt} - \frac{U_{C_{ds}}}{R_{ds}}, \\ i_{C_s} = 2I_{pt} + A_{15} + A_{13} - A_{14} + \frac{A_3}{R_g} - \frac{2U_{C_{ds}}}{R_{ds}}, \\ i_{C_c} = I_{bt} + A_{15} - I_{dr}, \\ i_{C_e} = I_{bt} + A_{15} + A_{13} + I_{df}, \end{array} \right. \quad (3.13)$$

де

$$A_1 = R_e + R_s, \quad A_2 = R_c + R_6, \quad A_3 = U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_d}, \quad A_4 = -U_{C_c} - U_{C_{ds}},$$

$$A_5 = -U_{C_c} - U, \quad A_6 = R_d + R_3 + R_W, \quad A_7 = A_1 + A_2 + R_4,$$

$$A_8 = -A_6 A_7 R_b + R_W^2 A_7 - R_W A_7 A_6 - A_2^2 A_6 - A_2 A_6 A_7,$$

$$A_9 = R_W A_7 U - A_4 A_6 A_7 + A_2 A_6 A_5,$$

$$A_{10} = -R_W^2 A_7 \cdot i - R A R \cdot$$

$$A_{11} = \frac{i_L R_4 + A_5}{A_7},$$

$$A_{12} = \frac{-A_2}{A_7}, A_{13} = \frac{A_{10} \cdot i_L + i_{R_d} \cdot R_d A_6 A_7 + A_9}{A_8},$$

$$A_{14} = -\frac{U_{C_d} A_8 + i_L \cdot R_5 A_8 + i_L \cdot R_5 A_{10} + R_5 A_9 + A_3 A_8}{-A_{8d} R + R_{5d} R A A - R A_{58}}, A_{15} = A_{11} A_{13} A_{12}.$$

Проведемо заміну у лівій частині рівнянь системи рівнянь (3.13) у відповідності до виразів, які описують струми в ємностях $i_C(t) = C \frac{dU}{dt}$ і напруги у індуктивностях $U_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$, а також врахуємо, що всі напруги та струми в системі змінюються в часі:

$$\begin{aligned} \int L \frac{di_L(t)}{dt} &= A_{13} \cdot R_b + \left(\frac{-U + i_L(t) \cdot (R_W + R_3) + A_{13} \cdot R_W}{A_6} \right) \cdot R_3 - i_L(t) \cdot (R_3 + R_2) - A_{15} \cdot A_1 - U_{C_c} \\ \int C_d \frac{dU_{C_d}(t)}{dt} &= \frac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_d}(t)}{R_g}, \\ \int C_{ds} \frac{dU_{C_{ds}}(t)}{dt} &= A_{14} + \frac{A_3}{R_g} + I_{pt} - \frac{U_{C_{ds}}(t)}{R_{ds}}, \\ \int C_s \frac{dU_{C_s}(t)}{dt} &= 2I_{pt} + A_{15} + A_{13} - A_{14} + \frac{A_3}{R_g} - \frac{2U_{C_{ds}}(t)}{R_{ds}}, \\ \int C_c \frac{dU_{C_c}(t)}{dt} &= I_{bt} + A_{15} - I_{dr}, \\ \int C_e \frac{dU_{C_e}(t)}{dt} &= I_{bt} + A_{15} + A_{13} + I_{df}, \end{aligned} \quad (3.14)$$

Система рівнянь (3.14) є нелінійною, оскільки містить в собі нелінійні елементи, а саме джерела струмів I_{pt} , I_{dr} , I_{df} , $I_{bt} = (I_f - I_r) / QB$ та ємності C_e , C_c :

$$I_f = I_S \left(e^{\frac{V_{BE}}{VT \cdot NF}} - 1 \right), \quad (3.15)$$

$$I_r = I_S \left(e^{\frac{V_{BC}}{VT \cdot NR}} - 1 \right), \quad (3.16)$$

$$I_{df} = \frac{I_f}{BF}, \quad (3.17)$$

$$I_{dr} = \frac{I_r}{BR}, \quad (3.18)$$

$$I_{pt} = \begin{cases} 0, & V_{GS} - V_{TO} \leq 0; \\ \beta \cdot (V_{GS} - V_{TO})^2, & V_{GS} - V_{TO} > 0; \\ \beta \cdot V_{DS}^{GS} \cdot [2 \cdot (V_{GS} - V_{TO}) - V_{DS}^{GS}], & V_{GS} - V_{TO} > V_{DS}^{GS}, \end{cases} \quad (3.19)$$

де I_S – струм насичення біполярного транзистора; V_{BE} , V_{BC} – напруги на внутрішніх точках база-емітер, база-колектор; VT – температурний потенціал; NF , NR – коефіцієнти неідеальності в нормальному та інверсному режимах; B , BR – максимальні коефіцієнти передачі струму за схемою з загальним емітером в нормальному та інверсному режимах; QB – коефіцієнт неідеальності переходів біполярного транзистора; V_{TO} – порогова напруга; β – крутизна прохідної характеристики; V_{GD} , V_{GS} , V_{DS} – напруги на внутрішніх точках затвор-стік, затвор-витік та стік-витік.

Ємності біполярного транзистора мають дифузійну та бар'єрну складові. Розглянемо окремо ємність колекторного переходу C_c :

$$C_c = C_{c,dif} + C_{c,bar}, \quad (3.20)$$

$$C_{c,dif} = \frac{(I_r + I_S) \cdot TR}{VT \cdot NR}, \quad (3.21)$$

запишеться як:

$$(3.22)$$

Ємність емітерного переходу C_e

$$C_e = C_{e\text{dif}} + C_{e\text{bar}}; \quad (3.23)$$

$$C_{e\text{dif}} = \tau_f (I_f + I) \quad ; \quad (3.24)$$

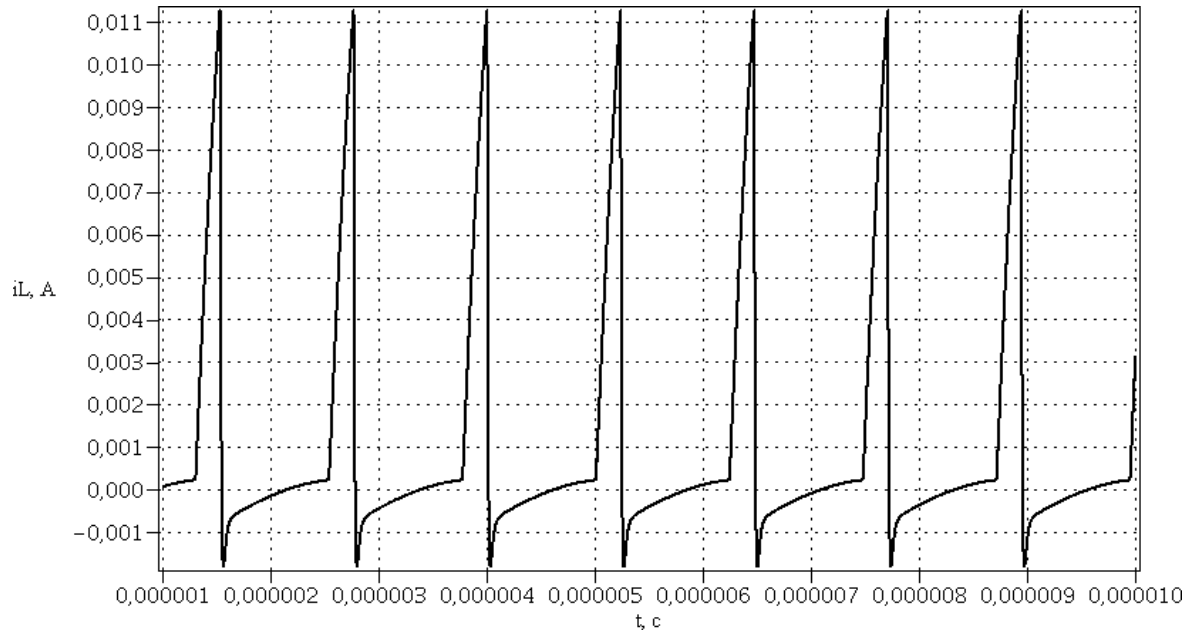
$$C_{e\text{bar}} = \begin{cases} \frac{CJE}{\left(1 - \frac{V_{BE}}{V_{JE}}\right)^{MJE}}, & V_{BE} < 0; \\ CJE, & V_{BE} \geq 0, \end{cases} \quad (3.25)$$

де $C_{c\text{dif}}$, $C_{c\text{bar}}$, $C_{e\text{dif}}$, $C_{e\text{bar}}$ – дифузійні і бар’єрні ємності колекторного та емітерного переходів; V_{JE} , V_{JC} – контактна різниця потенціалів переходів; TF , TR – час переносу заряду через базу в нормальному та інверсному режимах; MJE , MJC – коефіцієнти плавності переходів; CJE , CJC – ємність емітерного і колекторного переходів при нульовому зміщені.

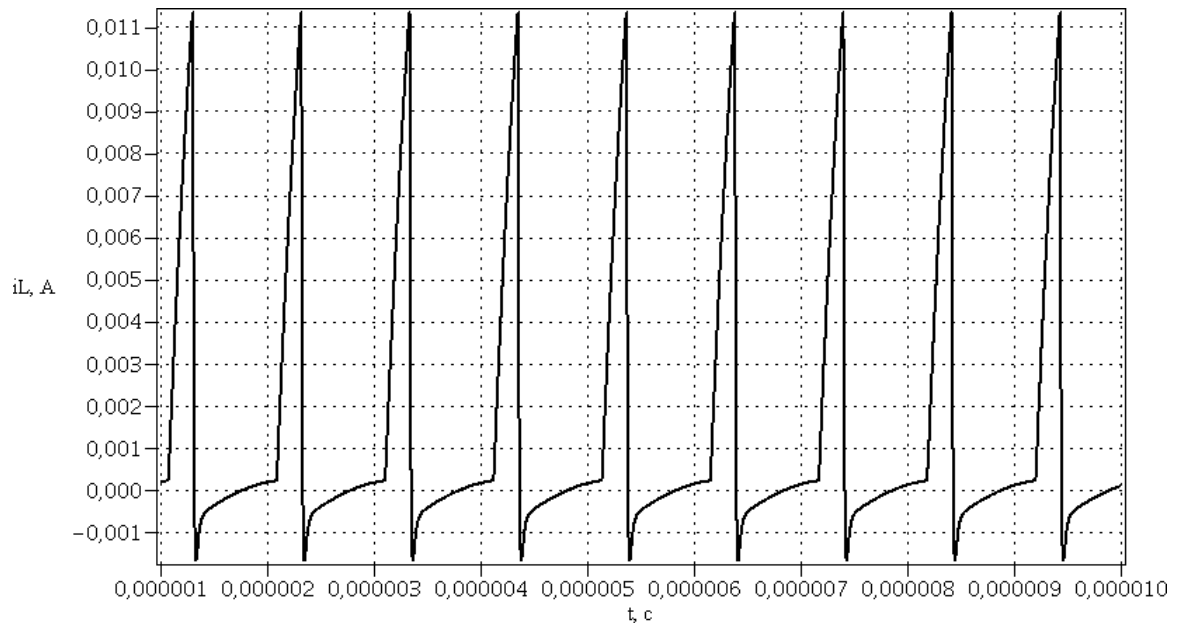
Система рівнянь (3.14) є динамічною математичною моделлю мікроелектронного частотного перетворювача вологості, яка дозволяє визначити значення напруги та струму в будь-якій точці схеми в заданий момент часу.

Для перевірки адекватності розробленої моделі написано програму для розрахунку параметрів схеми в середовищі *Maple*.

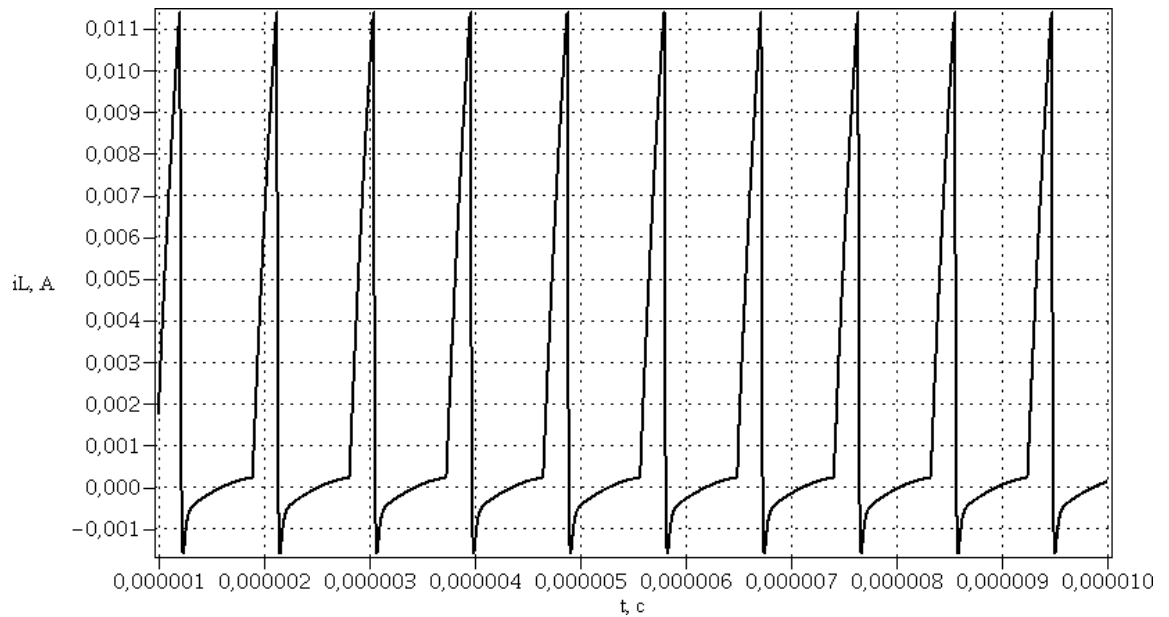
Розрахунок показує, що на виході мікроелектронного частотного перетворювача вологості дійсно будуть існувати періодичні коливання (рис. 3.17), частота яких буде змінюватись зі зміною опору вологочутливого резистивного елемента $R_W(W)$.



$$R_W(W) = 10 \text{ kOhm}, \quad F = 827,7 \text{ kHz}$$



$$R_W(W) = 13 \text{ kOhm}, \quad F = 953,1 \text{ kHz}$$



$$R_W(W) = 16 \text{ k}\Omega, \quad F = 1054,5 \text{ kHz}$$

Рисунок 3.17 – Зміна струму індуктивності від часу при різних значеннях опору вологочутливого резистивного елемента

Так, при $R_W(W) = 10 \text{ к}\Omega$ частота $F = 827,7 \text{ кГц}$, при $R_W(W) = 13 \text{ к}\Omega$ частота $F = 953,1 \text{ кГц}$, а при $R_W(W) = 16 \text{ к}\Omega$ частота $F = 1054,5 \text{ кГц}$, при цьому напруга живлення $U = 5 \text{ В}$.

Для підтвердження теоретичних результатів та проведення експериментальних досліджень електричне коло мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом (рис.3.18) було досліджене в середовищі схемотехнічного моделювання *LTSpice*. Дослідження проводились в діапазоні зміни опору вологочутливого резистивного елемента від $R_W(W) = 10 \text{ к}\Omega$ до $R_W(W) = 16 \text{ к}\Omega$, що відповідає збільшенню значення відносної вологості повітря від 20% до 90%.

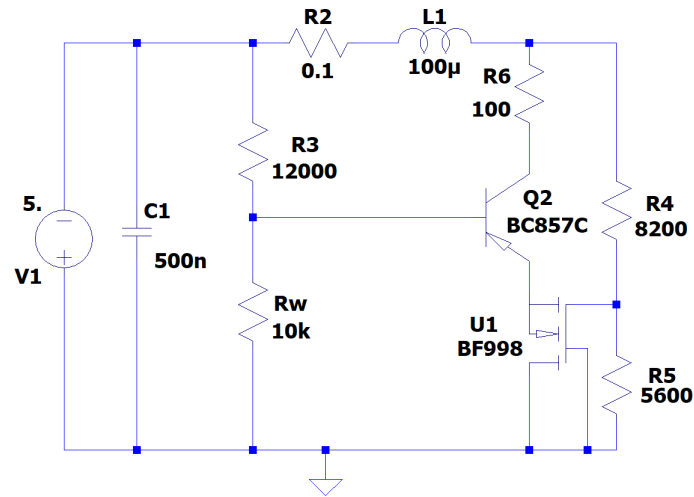


Рисунок 3.18 – Електрична схема мікроелектронного частотного перетворювача вологості в *LTSpice*

За результатами моделювання в середовищі *LTSpice* легко бачити, що через індуктивність протікає гармонічний струм (рис. 3.19). Підрахувавши частоту струму індуктивності можна побачити, що зі збільшенням опору вологочутливого резистивного елемента від 10 кОм ($W = 20\%$) до 16 кОм ($W = 90\%$) частота сигналу збільшується від 826,4 кГц до 1052,6 кГц.

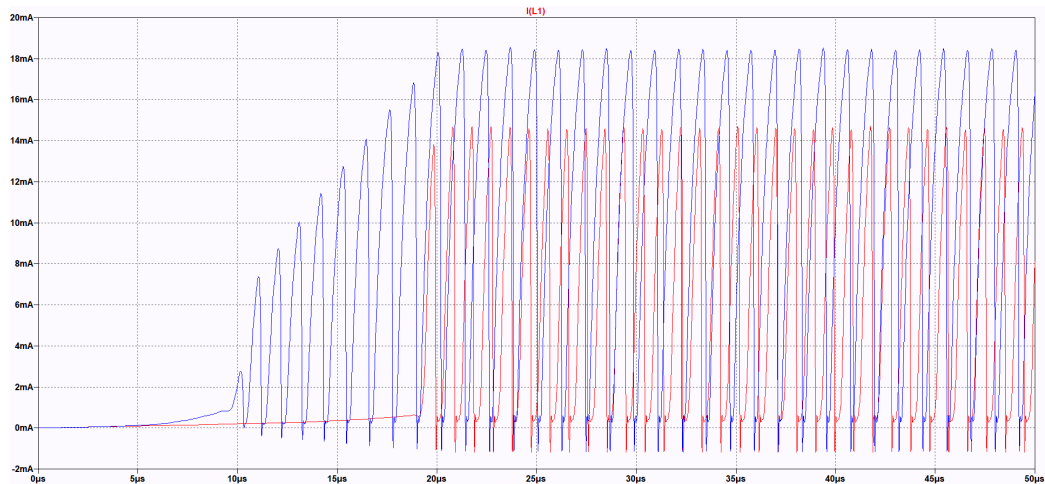


Рисунок 3.19 – Експериментальна залежність струму індуктивності від часу при різних значеннях опору вологочутливого резистивного елемента в *LTSpice*

Так на рис. 3.20 наведено експериментальну залежність струму індуктивності від часу при відносній вологості повітря $W = 55\%$, що відповідає значенню опору вологочутливого резистивного елемента $R_W(W) = 13$ кОм, при цьому частота вихідного сигналу дорівнює $F = 951,5$ кГц. А на рис. 3.21 наведено експериментальну залежність струму індуктивності від часу при відносній вологості повітря $W = 90\%$, що відповідає значенню опору вологочутливого резистивного елемента $R_W(W) = 16$ кОм, при цьому частота вихідного сигналу дорівнює $F = 1052,6$ кГц.

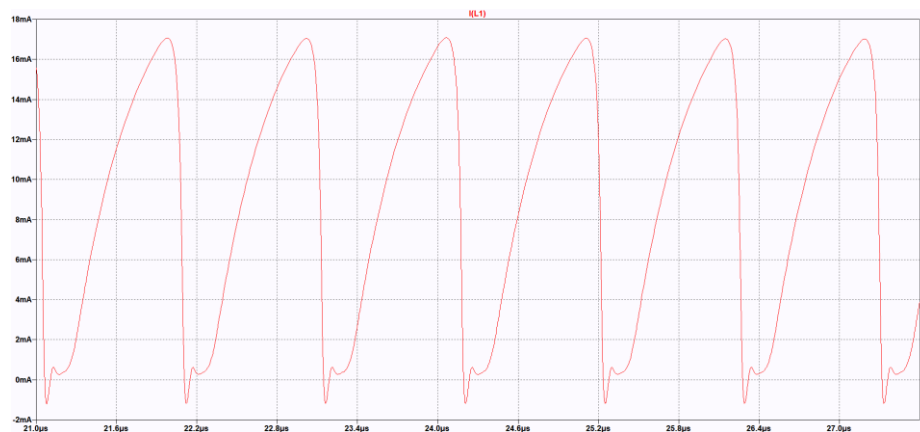


Рисунок 3.20 – Експериментальна залежність струму індуктивності від часу при відносній вологості повітря $W = 55\%$

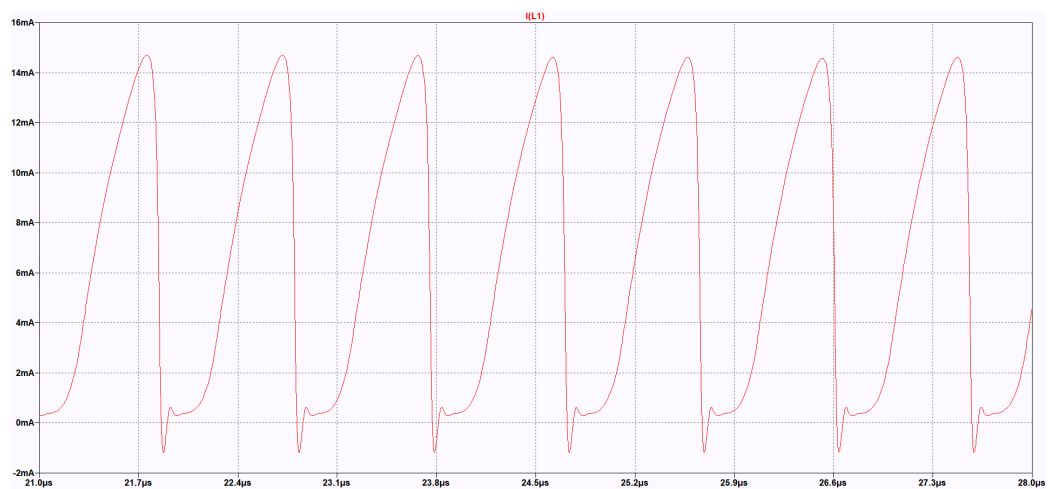


Рисунок 3.21 – Експериментальна залежність струму індуктивності від часу при відносній вологості повітря $W = 90\%$

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень легко бачити, що на виході мікроелектронного частотного перетворювача вологості дійсно будуть існувати періодичні коливання частота яких буде збільшуватись зі збільшенням значення відносної вологості повітря. Порівнявши отримані теоретичні та експериментальні значення частоти вихідного сигналу було встановлено, що відносна похибка не перевищує 1,8%.

3.3 Висновки до розділу

1. Вперше розроблена математична модель частотних параметричних перетворювачів температури на основі напівпровідникових структур з від'ємним опором, що містять МДН та біполярні транзистори, і в якій на відміну від існуючих, врахований вплив температури на елементи нелінійної еквівалентної схеми перетворювача, що дозволило визначити функцію перетворення температури в частоту і рівняння чутливості.

2. В результаті математичного моделювання отримані аналітичні вирази, які можуть бути використаними для інженерного розрахунку функції перетворення та чутливості частотних параметричних перетворювачів температури на основі транзисторних структур з від'ємним опором.

3. Розроблені частотні параметричні перетворювачі температури на основі напівпровідникових структур з від'ємним опором, які містять біполярні та МДН транзистори та володіють ємнісним характером реактивної складової, що забезпечує виготовлення перетворювачів за стандартною груповою інтегральною технологією у вигляді автогенераторних вимірювальних перетворювачів температури з вихідним частотним сигналом.

4. Розроблено математичну модель частотного параметричного перетворювача вологості з ємнісними елементами виготовленими на основі: NaCl+полімер, NaCl; BaCl₂+полімер, BaCl₂, а також ємнісних елементів виготовленими на основі комплексних сполук. Найбільша чутливість частотного параметричного перетворювача вологості для зміни вологості

навколишнього середовища становить $62 \dots 107$ кГц/%.

5. Розроблено математичну модель мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом. Використовуючи середовище Maple доведена адекватність розробленої математичної моделі. Встановлено, що на виході мікроелектронного частотного перетворювача вологості існують періодичні коливання, частота яких змінюється зі зміною опору вологочутливого резистивного елемента $R_W(W)$. Так, при $R_W(W) = 10$ кОм частота $F = 827,7$ кГц, при $R_W(W) = 13$ кОм частота $F = 953,1$ кГц, а при $R_W(W) = 16$ кОм частота $F = 1054,5$ кГц, при цьому напруга живлення $U = 5$ В.

6. Для підтвердження теоретичних результатів розробку досліджено в середовищі схемотехнічного моделювання LTSpice. Дослідження проводились в діапазоні зміни опору вологочутливого резистивного елемента від $R_W(W) = 10$ кОм до $R_W(W) = 16$ кОм, що відповідає збільшенню значення відносної вологості повітря від 20% до 90%. За результатами моделювання в середовищі LTSpice встановлено, що зі збільшенням опору вологочутливого резистивного елемента від 10 кОм ($W = 20\%$) до 16 кОм ($W = 90\%$) частота сигналу збільшується від 826,4 кГц до 1052,6 кГц.

7. Результати теоретичних та експериментальних досліджень показали, що на виході мікроелектронного частотного перетворювача вологості існують періодичні коливання частота яких буде збільшуватись зі збільшенням значення відносної вологості повітря. Отримані теоретичні та експериментальні дослідження мають гарний збіг, відносна похибка не перевищує 1,8%.

4 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 «Радіовимірювальні частотні сенсори температури та вологості для спеціалізованих хмарних систем» 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.

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.

4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Радіовимірювальні частотні сенсори температури та вологості для

спеціалізованих хмарних систем» 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. 4.1 [9].

Таблиця 4.1 – 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 гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою

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

Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до табл.4.2.

Таблиця 4.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	5	5	5
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	1	1	1
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	2	3	2
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	1	2	2
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	2	2	2
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	3	3
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	3	2	3
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	5	5	5
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	3	4	3
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	5	5	5
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	4	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	4
Сума балів	38	40	39
Середньоарифметична сума балів $СБ_c$	39,0		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 4.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 4.3 [9].

Таблиця 4.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

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

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Радіовиміррювальні частотні сенсори температури та вологості для спеціалізованих хмарних систем» становить 39,0 бала, що, відповідно до таблиці 4.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

4.2 Визначення рівня конкурентоспроможності розробки

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

Одиничний параметричний індекс розраховуємо за формулою [9]

$$q_i = \frac{P_i}{P_{\text{базі}}} \quad (4.1)$$

де q_i – одиничний параметричний індекс, розрахований за i -м параметром;
 P_i – значення i -го параметра виробу;
 $P_{\text{базі}}$ – аналогічний параметр базового виробу-аналога, з яким проводиться порівняння.

Загальні технічні та економічні характеристики розробки представлено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Основні техніко-економічні показники аналога та розробки, що проектується

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Точність вимірювання вологості	%	5	2	2,5	0,3
Точність вимірювання температури	%	1	0,5	2	0,15
Габаритні розміри	мм	105 х 98 х 22	73,5 х 69 х 17	1,42	0,2
Вага	г	160	130	1,23	0,1
Середнє напрацювання на відмову вимірювача, не менше	год	6000	7000	1,17	0,25
Експлуатаційні витрати	грн.	25	15	0,6	0,5
Запланована вартість розробки	грн.	450	200	0,44	0,5

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

Груповий показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами розраховуємо як добуток частинних показників за кожним параметром за формулою [9]

$$I_{\text{ГП}} = \prod_{i=1}^n q_i, \quad (4.2)$$

де I_{nn} – загальний показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами;

q_i – одиничний (частинний) показник за i -м нормативним параметром;

n – кількість нормативних параметрів, які підлягають оцінюванню.

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

Значення групового параметричного індексу за технічними параметрами визначаємо з урахуванням вагомості (частки) кожного параметра [9]

$$I_{ТП} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (4.3)$$

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

q_i – одиничний параметричний показник i -го параметра;

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

n – кількість технічних параметрів, за якими оцінюється конкурентоспроможність.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці 4.4.

$$I_{mn} = 2,5 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,15 + 1,42 \cdot 0,2 + 1,23 \cdot 0,1 + 1,17 \cdot 0,25 = 1,75.$$

Груповий параметричний індекс за економічними параметрами розраховуємо за формулою [9]:

$$I_{ЕП} = \sum_{i=1}^m q_i \cdot \beta_i, \quad (4.4)$$

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

q_i – економічний параметр i -го виду;

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

m – кількість економічних параметрів, за якими здійснюється оцінювання.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних табл.4.4.

$$I_{EP} = 0,6 \cdot 0,5 + 0,44 \cdot 0,5 = 0,52.$$

На основі групових параметричних індексів за нормативними, технічними та економічними показниками розрахуємо інтегральний показник конкурентоспроможності за формулою [9]

$$K_{INT} = I_{HP} \cdot \frac{I_{TP}}{I_{EP}}, \quad (4.5)$$

$$K_{INT} = 1 \cdot 1,75 / 0,52 = 3,36.$$

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

4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Радіовимірювальні частотні сенсори температури та вологості для спеціалізованих хмарних систем», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

4.3.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам,

технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [9]

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.6)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

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

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

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

$$Z_o = 14720,00 \cdot 24 / 24 = 14720,00 \text{ (грн)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Науковий керівник проектного дослідження	14720,00	613,33	24	14720,00
Консультант з аналізу технічних характеристик утримання серверів хмарних технологій	14450,00	602,08	8	4816,67
Інженер-схемотехнік	14500,00	604,17	15	9062,50
Інженер-конструктор електронної апаратури	14300,00	595,83	15	8937,50
Технік	7450,00	310,42	20	6208,33
Всього				43745,00

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Радіовимірювальні частотні сенсори температури та вологості для спеціалізованих хмарних систем» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.7)$$

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

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

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.8)$$

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) [9];

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

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

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 6700,00 \cdot 1,10 \cdot 1,65 / (24 \cdot 8) = 63,34 \text{ (грн)}.$$

$$Z_{p1} = 63,34 \cdot 7,20 = 456,02 \text{ (грн)}.$$

Таблиця 4.6 – 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
Встановлення допоміжного обладнання	7,20	2	1,10	63,34	456,02
Встановлення програмного забезпечення	5,30	4	1,50	86,37	457,75
Встановлення блоків реєстрації вологості та температури	6,45	4	1,50	86,37	557,07
Монтаж блоків системи передачі даних	4,50	5	1,70	97,88	440,47
Формування бази даних результатів вимірювань	18,00	3	1,35	77,73	1399,15
Підготовка лабораторії	12,30	3	1,35	77,73	956,08
Всього					4266,54

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

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

$$Z_{\text{дод}} = (Z_{\text{о}} + Z_{\text{р}}) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (4.9)$$

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

$$Z_{\text{дод}} = (43745,00 + 4266,54) \cdot 10 / 100\% = 4801,15 \text{ (грн)}.$$

4.3.2 Відрахування на соціальні заходи

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

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (4.10)$$

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

$$Z_n = (43745,00 + 4266,54 + 4801,15) \cdot 22 / 100\% = 11618,79 \text{ (грн)}.$$

4.3.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Радіовимірювальні частотні сенсори температури та вологості для спеціалізованих хмарних систем».

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

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{\text{в}j}, \quad (4.11)$$

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

n – кількість видів матеріалів;

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

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

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

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

$$M_1 = 3,0 \cdot 273,00 \cdot 1,11 - 0 \cdot 0 = 909,09 \text{ (грн)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таб.4.7

Таблиця 4.7 – 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	273,00	3,0	-	-	909,09
Диск оптичний	148,00	4,0	-	-	657,12
Канцелярське приладдя	180,00	4,0	-	-	799,20
Тека паперова	190,00	3,0	-	-	632,70
Тонер Canon 12X	5870,00	0,025	-	-	162,89
Флеш-пам'ять 32 Gb	362,00	1,0	-	-	401,82
Флюс ФКСН	150,00	0,010	-	-	1,67
Каніфоль	186,00	0,020	0,006	22,00	4,00
Припій ПОС-61	720,00	0,010	-	-	7,99
Склотекстоліт фольгований односторонній	220,00	0,010	0,005	120,00	1,84
Хлорне залізо	176,00	0,150	-	-	29,30
Всього					3607,62

4.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_e), які використовують при проведенні НДР на тему «Радіовимірювальні частотні сенсори температури та вологості для

спеціалізованих хмарних систем», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_e = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (4.12)$$

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

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

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

$$K_e = 5 \cdot 3,54 \cdot 1,12 = 19,82 \text{ (грн)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до табл.4.8.

Таблиця 4.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Резистори постійного опору	5	3,54	19,82
Вологорезистор АМ2301А	1	182,00	203,84
Конденсатор керамічний	1	2,75	3,08
Транзистор біполярний ВС857С	1	6,22	6,97
Транзистор польовий ВF998	1	18,60	20,83
Котушка індуктивності	1	21,40	23,97
Всього			278,51

4.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

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

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (4.13)$$

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.

$$B_{\text{спец}} = 4380,00 \cdot 1 \cdot 1,12 = 4905,60 \text{ (грн)}.$$

Отримані результати зведемо до табл.4.9.

Таблиця 4.9 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Модель-імітація серверної станції	1	4380,00	4905,60
Пристрої передачі даних	1	5796,00	6491,52
Гігрометр автоматичний еталонний	1	3594,00	4025,28
Термометр автоматичний еталонний	1	4100,00	4592,00
Всього			20014,40

4.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

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

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{инрг}} \cdot C_{\text{прог.і}} \cdot K_i, \quad (4.14)$$

де $C_{\text{инрг}}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{\text{прог.і}}$ – 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.

$$B_{\text{прог}} = 9485,00 \cdot 1 \cdot 1,11 = 10528,35 \text{ (грн)}.$$

Отримані результати зведемо до табл.4.10.

Таблиця 4.10 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Прикладне програмне забезпечення проектування PCAD 2000 Schematic	1	9485,00	10528,35
Всього			10528,35

4.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

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

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б}}{T_{е}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.15)$$

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;

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

$$A_{обл} = (8350,00 \cdot 1) / (3 \cdot 12) = 231,94 \text{ (грн)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до табл.4.11.

Таблиця 4.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
ОС Windows	8350,00	3	1	231,94
Прикладний пакет Microsoft Office	7210,00	3	1	200,28
Оргтехніка	8100,00	5	1	135,00
Метрологічний комплекс	12120,00	5	1	202,00
Приміщення лабораторії досліджень	565000,00	20	1	2354,17

Робоче місце інженера-конструктора	8320,00	5	1	138,67
Пристрій виводу інформації	6950,00	5	1	115,83
Електронно-обчислювальний комплекс	32730,00	3	1	909,17
Клімат-система автоматизована	42360,00	7	1	504,29
Монтажно-паяльна станція	7600,00	4	1	158,33
Всього				4949,67

4.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (4.16)$$

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 $C_e = 6,20$ грн;

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

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

$$B_e = 0,45 \cdot 65,0 \cdot 6,20 \cdot 0,95 / 0,97 = 181,35 \text{ (грн)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до табл.4.12.

Таблиця 4.12 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Оргтехніка	0,45	65,0	181,35
Метрологічний комплекс	0,23	65,0	92,69
Монтажно-паяльна станція	0,06	4,0	1,49
Робоче місце інженера-конструктора	0,10	150,0	93,00
Пристрій виводу інформації	0,12	42,0	31,25
Електронно-обчислювальний комплекс	0,36	150,0	334,80
Модель-імітація серверної станції	0,52	65,0	209,56
Пристрої передачі даних	0,02	4,5	0,56
Клімат-система автоматизована	1,50	100,0	930,00
Всього			1874,69

4.3.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Радіовимірювальні частотні сенсори температури та вологості для спеціалізованих хмарних систем» 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

$$B_{cv} = (3_o + 3_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (4.17)$$

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

$$B_{cv} = (43745,00 + 4266,54) \cdot 20 / 100\% = 9602,31 \text{ (грн)}.$$

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

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

$$B_{cn} = (3_o + 3_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (4.18)$$

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

$$B_{cn} = (43745,00 + 4266,54) \cdot 30 / 100\% = 14403,46 \text{ (грн)}.$$

4.3.11 Інші витрати

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

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

$$I = (3_{\text{е}} + 3_{\text{о}}) \cdot \frac{H_{\text{ів}}}{100\%}, \quad (4.19)$$

де $H_{\text{ів}}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{\text{ів}} = 60\%$.

$$I_{\text{е}} = (43745,00 + 4266,54) \cdot 60 / 100\% = 28806,92 \text{ грн.}$$

4.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

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

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

$$B_{\text{нзв}} = (3_{\text{о}} + 3_{\text{р}}) \cdot \frac{H_{\text{нзв}}}{100\%}, \quad (4.20)$$

де $H_{\text{нзв}}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{\text{нзв}} = 110\%$.

$$B_{\text{нзв}} = (43745,00 + 4266,54) \cdot 110 / 100\% = 52812,69 \text{ (грн).}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Радіовимірювальні частотні сенсори температури та вологості для спеціалізованих хмарних систем» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{\text{заг}} = Z_o + Z_p + Z_{\text{доо}} + Z_n + M + K_g + B_{\text{снец}} + B_{\text{прз}} + A_{\text{обл}} + B_e + B_{\text{св}} + B_{\text{сн}} + I_g + B_{\text{нзв}}. \quad (4.21)$$

$$B_{\text{заг}} = 43745,00 + 4266,54 + 4801,15 + 11618,79245 + 3607,62 + 278,51 + 20014,40 + 10528,35 + 4949,67 + 1874,69 + 9602,31 + 14403,46 + 28806,92 + 52812,69 = 211310,12 \text{ (грн)}.$$

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

$$ZB = \frac{B_{\text{заг}}}{\eta}, \quad (4.22)$$

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

$$ZB = 211310,12 / 0,95 = 222431,71 \text{ (грн)}.$$

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

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

Результати дослідження проведені за темою «Радіовимірвальні частотні сенсори температури та вологості для спеціалізованих хмарних систем» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

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

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

Показник		1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб		4500	8400	10000	7300

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 1500 осіб;

C_o – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 450,00 грн;

$\pm \Delta C_o$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo здешевлення -262,73 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 [9]:

$$\Delta \Pi_i = (\pm \Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\vartheta}{100}\right), \quad (4.23)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2022 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).
Прийmemo $\rho = 37\%$;

ϑ – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2022 році $\vartheta = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta \Pi_1 = (-262,73 \cdot 1500,00 + 187,28 \cdot 4500) \cdot 0,83 \cdot 0,37 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 112979,94 \text{ (грн)}.$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (-262,73 \cdot 1500,00 + 187,28 \cdot 12900) \cdot 0,83 \cdot 0,37 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 509123,65$$

(грн).

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (-262,73 \cdot 1500,00 + 187,28 \cdot 22900) \cdot 0,83 \cdot 0,37 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 980723,30$$

(грн).

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (-262,73 \cdot 1500,00 + 187,28 \cdot 30200) \cdot 0,83 \cdot 0,37 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1324991,04$$

(грн).

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

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t}, \quad (4.24)$$

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, $\tau = 0,22$;

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

$$ПП = 112979,94/(1+0,22)^1 + 509123,65/(1+0,22)^2 + 980723,30/(1+0,22)^3 + 1324991,04/(1+0,22)^4 = 92606,51 + 342061,04 + 540091,07 + 598099,75 =$$

$$=1572858,37 \text{ (грн)}.$$

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

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (4.25)$$

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 222431,71 (грн).

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 222431,71 = 444863,42 \text{ (грн)}.$$

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

$$E_{абс} = III - PV \quad (4.26)$$

де III – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 1572858,37 (грн);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 444863,42 (грн).

$$E_{абс} = III - PV = 1572858,37 - 444863,42 = 1127994,95 \text{ (грн)}.$$

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

$$E_e = r_{жс} \sqrt{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1, \quad (4.27)$$

де E_{abc} – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 1127994,95 грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 444863,42 (грн);

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

$$E_g = T_{жс} \sqrt[1 + \frac{E_{abc}}{PV}]{-1} = (1 + 1127994,95/444863,42)^{1/4} = 0,37.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій τ_{min}

$$\tau_{min} = d + f, \quad (4.28)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2022 році в Україні $d = 0,11$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, приймемо 0,25.

$\tau_{min} = 0,11 + 0,25 = 0,36 < 0,37$ 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 «Радіовимірювальні частотні сенсори температури та вологості для спеціалізованих хмарних систем» доцільно.

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

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (4.29)$$

де E_g – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 0,37 = 2,69 \text{ р.}$$

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

4.5 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Радіовимірювальні частотні сенсори температури та вологості для спеціалізованих хмарних систем» становить 39,0 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

При оцінюванні рівня конкурентоспроможності, згідно узагальненого коефіцієнту конкурентоспроможності розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 3,36 рази.

Також термін окупності становить 2,69 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 «Радіовимірювальні частотні сенсори температури та вологості для спеціалізованих хмарних систем».

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт.

5.1.1 Технічні рішення з організації робочого місця під час проектування

Найбільш вагомим шкідливим фактором який може впливати на працівника є електромагнітні випромінювання, тому, надалі, для створення оптимальних умов праці, розглянемо рішення при роботі з джерелами електромагнітних випромінювань.

Приміщення, у яких розміщуються установки, які є джерелами ЕМП, повинні відповідати вимогам діючих санітарних норм щодо проектування промислових підприємств і за своїм планувальним рішенням відповідати характеру виконуваних у них технологічних процесів. Рівні освітлення, опалення і вентиляції приміщень повинні відповідати вимогам будівельних норм і правил.

Метеорологічні умови в приміщеннях, наявність у повітрі робочої зони шкідливих речовин, рівень шуму, а також інших несприятливих факторів виробничого середовища повинні відповідати вимогам, указаним у відповідних нормативних документах, затверджених Міністерством охорони здоров'я України.

Захисні засоби повинні відповідати вимогам правил використання і випробування захисних засобів, які використовуються в електроустановках.

При розміщенні в одному приміщенні декількох установок треба унеможливити перевищення ГДР при сумарній енергії випромінювання. У разі можливого проходження електромагнітної енергії через будівельні конструкції в сусідні приміщення повинні вживатись заходи, які унеможливають опромінювання працівників при

рівнях, які перевищують гранично допустимі для відповідних категорій опромінювання.

Допускається при погодженні з органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду проведення робіт щодо настроювання і регулювання апаратури, яка є джерелом ЕМП, в екранованих приміщеннях. Робочі площі та об'єми екранованих приміщень повинні встановлюватись, виходячи з габаритів оброблюваних виробів, з урахуванням вимог безпеки при роботі з високою напругою і санітарних норм проектування промислових підприємств. Для унеможливлення перевищення ГДР за рахунок відбитого випромінювання стіни, стелю і підлогу екранованих приміщень необхідно покривати матеріалами, що поглинають ЕМВ до допустимих рівнів.

У разі спрямованого випромінювання допускається застосування поглинальних покриттів тільки на відповідних ділянках стін. В екранованих приміщеннях повинні вживатися заходи з компенсації нестачі природного світла, ультрафіолету, змін газового й аероіонного складу повітря та ін. відповідно до вимог санітарних норм і правил.

Захист персоналу від дії ЕМП досягається шляхом проведення організаційних, інженерно-технічних заходів, а також використання засобів індивідуального захисту.

До організаційних заходів належать: вибір раціональних режимів праці установок, обмеження місця і часу перебування персоналу в зоні опромінювання і т. ін.

Інженерно-технічні заходи включають раціональне розміщення обладнання, використання засобів, які обмежують надходження електромагнітної енергії на робочі місця персоналу (поглинальні матеріали, екранування).

До засобів індивідуального захисту належать захисні окуляри, щитки, шоломи, захисний одяг (комбінезони, халати з металовмісної тканини; окуляри з металовмісним склом).

Засіб захисту в кожному конкретному випадку повинен визначатись з урахуванням робочого діапазону частот, характеру робіт, необхідної ефективності захисту.

Особи (фахівці), які проводять дослідження електромагнітних випромінювань, повинні мати засоби індивідуального захисту від впливу ЕМВ.

На кожний засіб захисту повинна бути складена технічна документація з відміткою про призначення та діапазон частот, у яких цей засіб захисту може бути використаний, допустимої потужності розсіювання, забезпеченої ефективності захисту за всім діапазоном частот, на який розраховано використання даного засобу.

Виключення або обмеження випромінювання від антенних систем або відкритих хвилеводів забезпечується застосуванням:

при налагодженні високочастотної апаратури - еквівалентних навантажень;

при перевірці робіт приймальних, індикаторних, обчислювальних та систем керування - імітаторів мети;

при обробці ліній передачі енергії і антенних пристроїв - хвилеводів з використанням антенно-хвилеводних трактів вимірювальних генераторів.

Випробування установок з випромінюванням на антену повинно проводитись на спеціальних полігонах. В окремих випадках допускається проведення суворо регламентованих за часом і місцем вибіркового випробувань у приміщеннях цехів за умови виключення опромінення персоналу за інтенсивності, яка перевищує граничнодопустиму. У період роботи установок з випромінюванням на

антену повинна діяти попереджувальна (звукова або світлова) сигналізація.

Екранування джерел випромінювання або робочих місць здійснюється за допомогою відбивальних екранів (стаціонарних або пересувних). Відбивальні екрани виготовляються з металевих листів, сітки, бавовняної металовмісної тканини та ін. У поглинальних екранах використовуються спеціальні матеріали, що забезпечують поглинання випромінювання відповідної довжини хвилі. Залежно від потужності випромінювання і взаємного розміщення джерела і робочих місць конструктивне вирішення екранів може бути різним (замкнута камера, щит, чохол, штора та ін).

При випробуванні й експлуатації установок у режимі випромінювання на антену на відкритих територіях полігонів, аеродромів, метеостанціях, суднах морського і річкового флоту слід уживати заходи, спрямовані на обмеження рівня опромінювання території об'єкта, раціональне розміщення на ньому будинків і споруд, забезпечення безпечних умов для проведення робіт і пересування персоналу в зонах випромінювання антен.

Для зниження рівня опромінювання території об'єкта слід: антени станції розміщувати на насипах (естакадах) або природних пагорбах; обмежувати використання від'ємних кутів нахилу антени. Службові приміщення на території об'єкта слід розміщувати переважно в місцях, захищених від ЕМП ("радіотінь", "мертва зона"), орієнтувати так, щоб було унеможливлене опромінювання вікон і дверей, у разі необхідності - екранувати.

Маршрути руху персоналу на території об'єкта слід установлювати таким чином, щоб унеможливити опромінювання при рівнях, що перевищують граничнодопустимі.

5.1.2 Електробезпека приміщення

Приміщення, де буде здійснюватись робота за небезпекою ураження електричним струмом можна віднести до 1 класу, тобто це приміщення без підвищеної небезпеки (сухе, мало заповнене, з нормальною температурою повітря, ізольованими підлогами і малим числом заземлених приладів).

На робочому місці з усього обладнання металевим є лише корпус системного блоку комп'ютера, в якого крім робочої ізоляції передбачений елемент для заземлення та провід з заземлюючий жилою для приєднання до джерела живлення.

Електротехнічне устаткування: апаратури, кабелі й керівництва, розподільні пристрої всіх видів і напруг по своїх номінальних параметрах задовольняє умовам роботи як при нормальних режимах, так і при коротких замиканнях, перенапругах, перевантаженнях.

Для забезпечення безпеки встановлюються наступні технічні рішення:

- Забезпечено недоступність струмопровідних частин (застосована схована проводка, кабель прокладений у спеціальних ринвах).
- Забезпечено ізолювання струмопровідних частин з використанням ізоляції, опір якої не нижче 1кОм/В, передбачені постійний контроль і профілактика ізоляції.
- Напруга освітлювальної мережі приймається 220 В із заземленою нейтраллю.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Дослідження радіовимірювальних частотних сенсорів температури та вологості для спеціалізованих хмарних платформ, згідно гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів

виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [11] за енерговитратами відноситься до категорії I б. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл.5.1 (відповідно ДСН 3.3.6.042-99).

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	40-60	0,1-0,3
Холодний	20-24	75	0,2

Для збереження допустимих умов праці, потрібно підтримувати вищенаведені параметри мікроклімату.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Формальдегід	0,035	0,03	2
Фенол	0,01	0,01	3
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	1

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено: механічна вентиляція, регулярне прибирання та заборона заходити у приміщення в верхньому одязі.

5.2.3 Виробниче освітлення

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні, які необхідно забезпечити під час виконання роботи зазначені у таблиці 5.4 (відповідно ДБН В.2.5-28-2006)

Таблиця 5.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або	Бокове	Верхнє або	Верхнє
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

Система природного освітлення на сьогоднішній день являється другорядним, компенсується загальним штучним освітленням, що створюється за допомогою економічних світлодіодних ламп.

5.2.4 Виробничий шум

Рівні шуму на робочому місці розробника встановлюються згідно ДСН 3.3.6.037-99. Під час аналізу мереж спостерігався шум непостійний тональний. Допустимі рівні звукового тиску під час виконання роботи повинні відповідати ГС, а рівні звуку L_A не повинні перевищувати 50 дБА (таблиця 5.5).

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму доцільно використовувати засоби індивідуального захисту, якщо відбуватиметься порушення відповідних норм.

5.2.5 Виробничі випромінювання

Джерелом електромагнітного випромінювання під час виконання роботи є ПК.

У результаті дії ЕМП на людину можливі гострі та хронічні форми порушення фізіологічних функцій організму. Ці порушення виникають в результаті дії електричної складової ЕМП на нервову систему, а також на структуру кори головного та спинного мозку, серцево-судинної системи.

Допустимі значення параметрів електромагнітних випромінювань від монітору комп'ютера згідно СанПіН 2.2.4.1191-03 наведені в табл. 5.6.

Таблиця 5.2.6 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	0,3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати:	для дорослих користувачів 20кВ/м для дітей 15кВ/м

Для захисту людини від дії електромагнітних випромінювань передбачаються наступні способи і засоби: обмеження часу перебування персоналу в робочій зоні; встановлення раціональних режимів експлуатації установок і роботи працюючого персоналу.

5.2.6 Психофізіологічні фактори

Основними показниками важкості праці є: фізичне динамічне навантаження, стереотипні робочі рухи, статичне навантаження, переміщення у просторі. Основними показниками напруженості праці є: тривалість зосередження уваги або щільність сигналів, ступінь ризику для власного життя та життя інших осіб або ступінь відповідальності за життя інших осіб, змінність при роботі виключно в нічну зміну. [1]. Розглянемо деякі нормовані значення до яких потрібно прагнути при організації розпорядку робочого дня та режиму роботи відпочинку для досягнення оптимальних умов. Сенсорні навантаження:

Тривалість зосередження уваги до 50% від загального часу зміни.
Спостереження за екранами відеотерміналів, до 2 годин на зміну.

Монотонність виробничої обстановки, час пасивного спостереження за технологічним процесом менше 75 % від часу зміни.

Тривалість робочого дня 6-7 год.

Змінність роботи – однозмінна робота (без нічної зміни).

Емоційне навантаження: є відповідальним за виконання окремих елементів завдання. Вимагає додаткових зусиль в роботі з боку працівника.

5.3 НС внаслідок наявності в навколишньому середовищі шкідливих речовин понад ГДК

Код 10400. В Україні нормуються наступні різновиди ГДК: у природних водах; водах господарського призначення, рибного господарства; у питній воді; у ґрунтах; у повітрі населеної зони; у повітрі робочої зони.

Протягом свого життя людина постійно стикається з великою кількістю шкідливих речовин, які можуть викликати різні види захворювань, розлади здоров'я, а також травми як у момент контакту, так і через певний проміжок часу.

Шкідлива речовина – це речовина, яка в разі контакту з організмом людини може викликати захворювання чи відхилення у стані здоров'я як під час впливу речовини, так і в подальший період життя теперішнього і наступних поколінь.

Шкідливі речовини знаходяться в просторі в різному агрегатному стані: твердому, рідкому, газу, аерозолі (дим, пил).

Для послаблення впливу шкідливих речовин на організм людини, для визначення ступеня забрудненості довкілля та впливу на рослинні та тваринні організми, проведення екологічних експертиз стану навколишнього середовища або окремих об'єктів чи районів в усьому світі користуються такими поняттями, як гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин (полютантів), гранично допустимі викиди (ГДВ), гранично допустимі екологічні навантаження (ГДЕН), максимально допустимий рівень (МКР), тимчасово погоджені викиди (ТПВ) та орієнтовно безпечні рівні впливу (ОБРВ) забруднюючих речовин у різних середовищах.

Гранично допустима концентрація (ГДК) шкідливої речовини – це така її концентрація в навколишньому середовищі, яка не знижує працездатності та самопочуття людини, не шкодить здоров'ю в разі постійного контакту, а також не викликає небажаних (негативних) наслідків у нащадків.

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз публікацій, присвячених сенсорів температур та вологості. Розглянуто основний принцип роботи датчиків. Розглянуто основні типи вологочутливих та температурозалежних сенсорів. Розглянуто основну характеристику хмарних систем сучасності.

Розглянуто основні характеристики вологорезистивних елементів. Розглянуто застосування датчиків вологості та температури. Розглянуто математичні моделі мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом. Розглянуто математичні моделі параметричних перетворювачів вологості з частотним виходом.

Розглянуто основні функціональні вузли цифрових зчитувачів температури та вологості. Були розглянуті основні розрахунки повного опору на основі біполярних транзисторів з активним індуктивним елементом.

В результаті математичного моделювання отримані аналітичні вирази, які можуть бути використаними для інженерного розрахунку функції перетворення та чутливості частотних параметричних перетворювачів температури на основі транзисторних структур з від'ємним опором.

Розроблені частотні параметричні перетворювачі температури на основі напівпровідникових структур з від'ємним опором, які містять біполярні та МДН транзистори та володіють ємнісним характером реактивної складової, що забезпечує виготовлення перетворювачів за стандартною груповою інтегральною технологією у вигляді автогенераторних вимірювальних перетворювачів температури з вихідним частотним сигналом.

У четвертому розділі проведено розрахунок кошторису витрат на виробництво пристрою та ефективність вкладених інвестицій.

У п'ятому розділі описано рекомендації щодо охорони праці та безпеки при роботі з даним пристроєм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Крутоверцев С.А.; Тарасова А.Є.; Крутоверцева Л.С.; Чупрін, М.В.; Іванова, О.М.; Сажинєв Ю. С. Технологія та характеристики датчиків мікрОВОЛОГОСТІ.
2. Місевич, КВ Ємнісний перетворювач вологості. IEEE Trans. Пром Електрон. Інструмент керування. 1969 рік
3. Чижма С.Н. Основи схемотехніки. Учебное пособие для вузов. – О.: Апельсин, 2008.
4. Слунечко, Я.; Холц, Дж.; Хрват, М.; Чех, М. Товстоплівкові датчики вологості на основі (Ba,Sr)TiO₃ пористої кераміки, легованої MgO та CaO. Sens. Actuators B Chem. 1992
5. Білий, Н.М.; Тернер, Дж. Д. Товстоплівкові датчики: минуле, сьогодення та майбутнє. вимірювання Sci. технол. 1997 рік
6. Осадчук В. С. Радіовимірювальні перетворювачі вологості на основі МДН-структур В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, А. Ю. Савицький. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 152 с.
7. Осадчук В. С. Мікроелектронні сенсори температури з частотним виходом В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Н. С. Кравчук. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. — 162 с.
8. Осадчук В. С. Частотні перетворювачі для контролю вологості нафтопродуктів В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, О. С. Звягін. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 152 с.
9. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с
10. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепка – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.
11. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности

- труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://vsegost.com/Catalog/31/31970.shtml>
- 12.ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. – Мінбуд України. – К.: 2006
- 13.ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>
- 14.ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
- 15.НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://sop.zp.ua/norm_praop_0_00-7_15-18_01_ua.php Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>
- 16.СанПіН 2.2.4.1294-03 «Фізичні фактори виробничого середовища. Гігієнічні вимоги до аероіонного складу повітря виробничих і громадських приміщень» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.ionization.ru/issue/iss5.htm>
- 17.ДСанПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/derz-nor4881.html>
- 18.СанПіН 2.2.4.1191-03 «Електромагнітні поля у виробничих умовах» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.vrednost.ru/2241191-03.php>

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**РАДІОВИМІРЮВАЛЬНІ ЧАСТОТНІ СЕНСОРИ ТЕМПЕРАТУРИ ТА
ВОЛОГОСТІ ДЛЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ХМАРНИХ СИСТЕМ**

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-21м
спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

ЯК Родінков Ю. М.
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., проф. каф. ІРТС
Осадчук О. В.
(прізвище та ініціали)

«20» 12 2022 р.

Основні відомості датчиків температури та типи хмарних систем

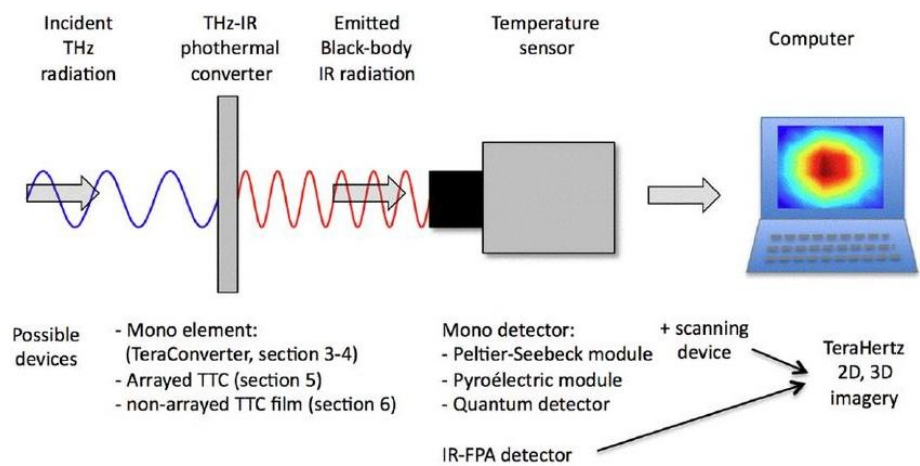


Рисунок 1 – Принцип роботи датчиків температури

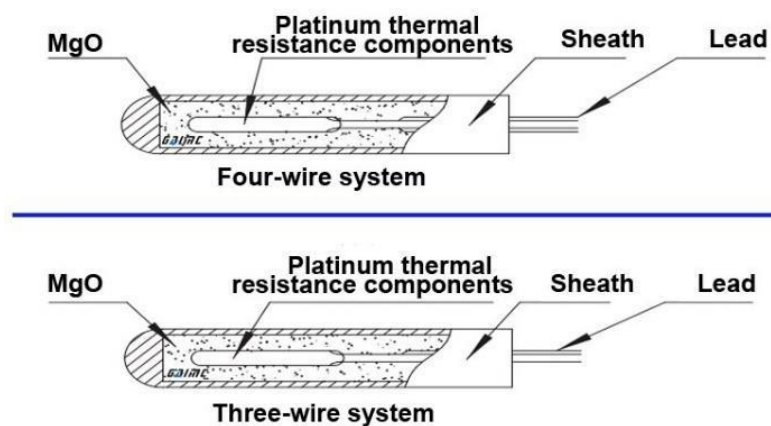


Рисунок 2 – Компоненти термодатчиків



Рисунок 3 - Типи хмарних сервісів: IaaS, PaaS, безсерверні та SaaS

Схематичний вигляд датчиків вологості

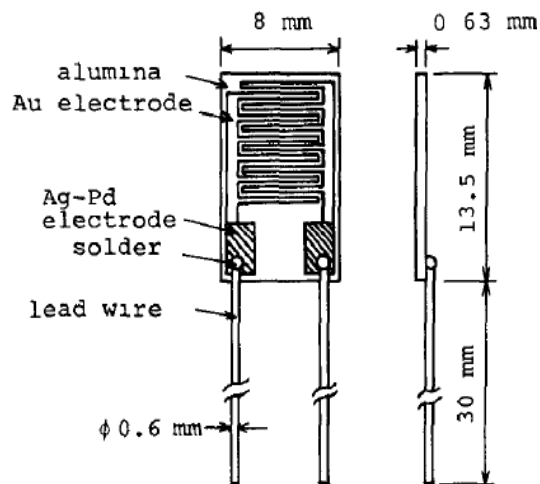


Рисунок 1 - Датчик вологості типу
«Hument HPR»

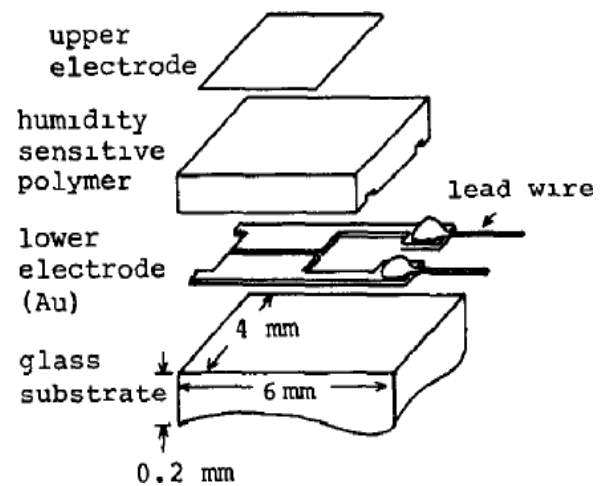


Рисунок 2 - Датчик вологості
«Humicare»

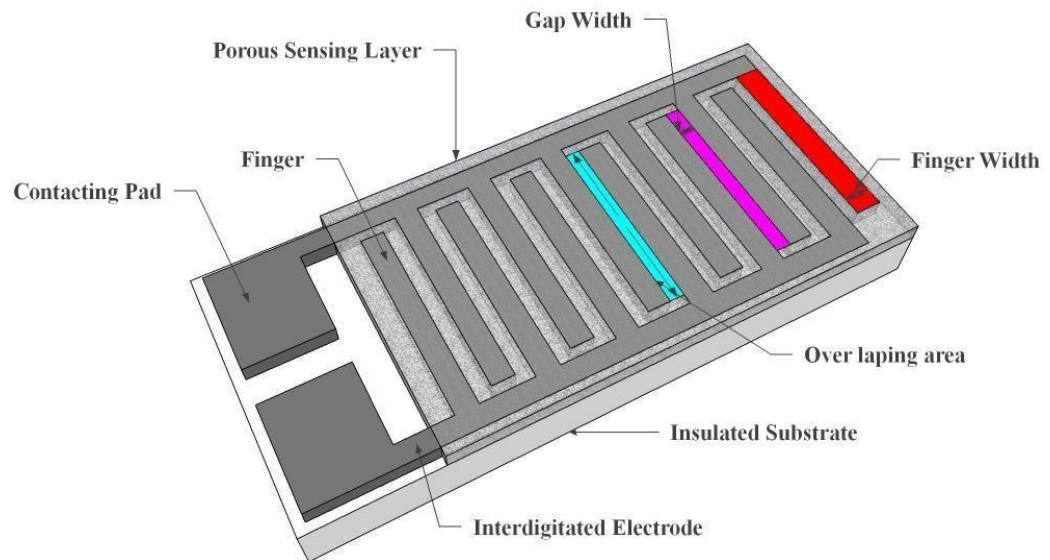


Рисунок 3 - Планарний датчик вологості на основі товстої/тонкої плівки на основі міжпальцевої структури з пористим чутливим елементом

Застосування датчиків температури та вологості

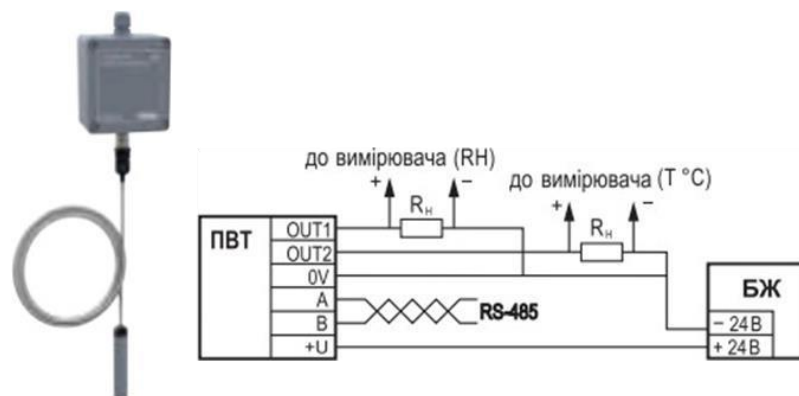


Рисунок 1 - Настінний датчик вологості з виносним зондом, та схема підключення датчику вологості та температури

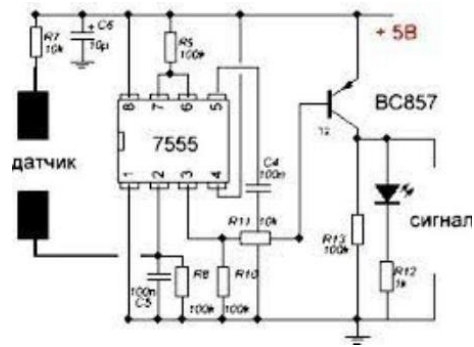
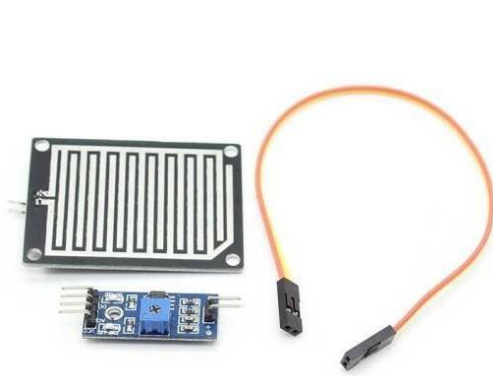
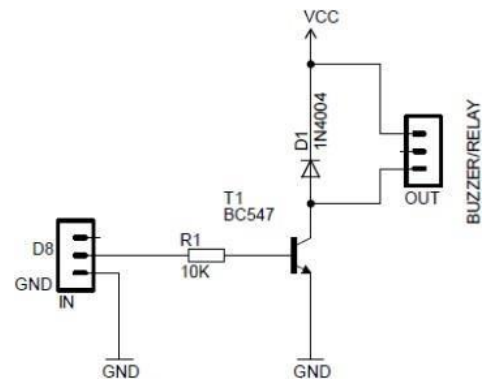


Рисунок 2 - Схема підключення датчику протікання

Рисунок 3 - Датчик дощу
(погодний модуль)Рисунок 4 - Схема
підключення датчику дощу

Параметричний перетворювач температури

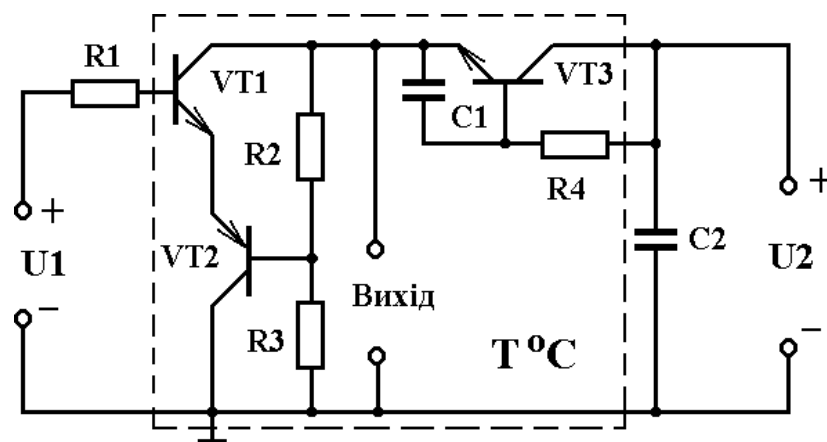


Рисунок 1 – Схема частотного перетворювача температури

Значення індуктивності на основі біполярного транзистора з RC- колом

$$L = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{A_4 A_1 - A_3 A_2}{A_1^2 + A_2^2},$$

де $A = \omega C \left[(r_{\sigma} - R\alpha) - \right]$,

$$A_2 = \omega C \left[\frac{2R\alpha}{R^2} \quad R^3 \quad R^2 \alpha^2 \right],$$

$$A_3 = \left[\frac{R\alpha_1 (r_{\sigma} - R) + r_{\sigma} \frac{1}{r_K} - 2 \frac{\alpha_1}{r_K} + \frac{1}{(\omega C)^2}}{2R^3} \right],$$

$$A_4 = \left[\frac{2R^2 \alpha_1 \alpha_2 - r_{\sigma} R \alpha_2 + \frac{1}{r_K} \alpha_2}{r_K} \right],$$

$\alpha_1 = \frac{\alpha_0}{1 + (f / f_{\alpha})^2}$ - дійсна складова коефіцієнта передачі струму у схемі із

загальною базою,

$\alpha_2 = \frac{\alpha_0 f / f_{\alpha}}{1 + (f / f_{\alpha})^2}$ - уявна складова коефіцієнта передачі струму у схемі із

загальною базою,

f_{α} - гранична частота біполярного транзистора у схемі із загальною базою,

f - робоча частота.

Добротність індуктивності визначається формулою

$$Q = \frac{(A_4 A_1 - A_3 A_2) \omega C}{\omega C (A_3 A_1 + A_4 A_2) - (A_1^2 + A_2^2)}.$$

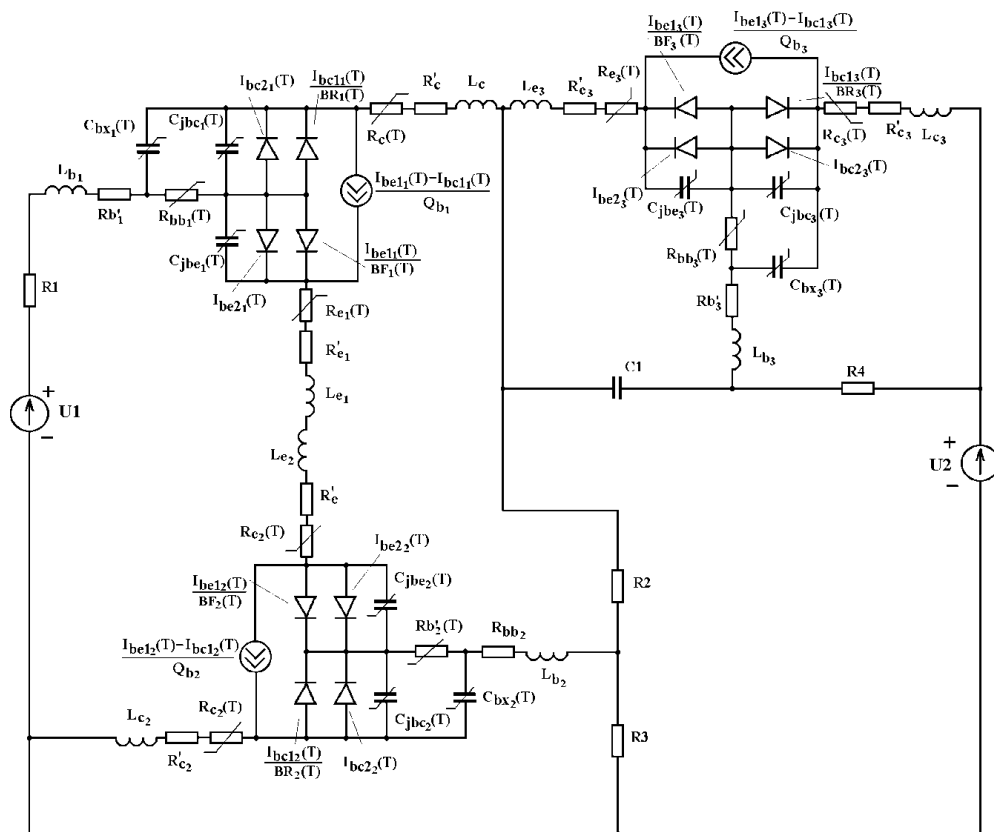


Рисунок 2 – Еквівалентна схема перетворювача температури

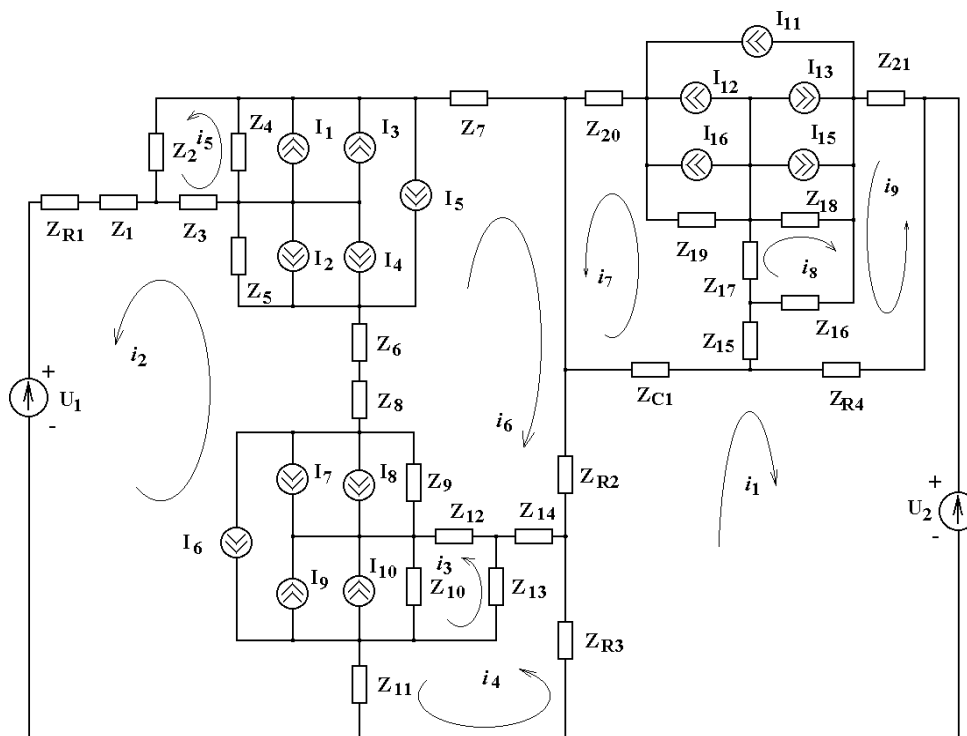


Рисунок 3 – Перетворена еквівалентна схема

Система рівнянь Кірхгофа, згідно рисунку 2

$$\begin{aligned}
U_2 &= (Z_{R3} + Z_{R2} + Z_{C1} + Z_{R4})i_1 + Z_{R3}i_4 - Z_{R2}i_6 + Z_{C1}i_7 + Z_{R4}i_9, \\
U_1 &= (Z_{R1} + Z_1 + Z_3 + Z_5 + Z_6 + Z_8 + Z_9 + Z_{10} + Z_{11})i_2 - Z_3i_5 - Z_3I_1 - Z_3I_3 + Z_3I_5 + Z_5I_2 + Z \\
&+ Z_5I_5 + Z_5i_6 + Z_6i_6 + Z_8i_6 + Z_9i_6 + Z_9I_8 + Z_9I_7 + Z_9I_6 - Z_{10}i_3 - Z_{10}I_{10} - Z_{10}I_9 + Z_{10}I \\
0 &= (Z_{10} + Z_{13} + Z_{12})i_3 - Z_{10}i_2 + Z_{10}I_{10} + Z_{10}I_9 - Z_{10}I_6 - Z_{13}i_4 - Z_{13}I_{10} - Z_{13}I_9 + \\
&+ Z_{12}i_6 - Z_{12}I_{10} - Z_{12}I_9 + Z_{12}I_6, \\
0 &= (Z_{R3} + Z_{14} + Z_{13} + Z_{11})i_4 + Z_{R3}i_1 + Z_{14}i_6 - Z_{13}i_3 + Z_{13}I_9 + Z \\
0 &= (Z_3 + Z_4 + Z_2)i_5 - Z_3i_2 + Z_3I_1 + Z_3I_3 - Z_3I_5 + Z_4i_6 - \\
0 &= (Z_{R2} + Z_{14} + Z_{12} + Z_9 + Z_8 + Z_6 + Z_5 + Z_4 + \\
&+ Z_9i_2 + Z_9I_8 + Z_9I_7 + Z_9I_6 + Z_8i_2 + Z_6i_2 + \\
0 &= (Z_{C1} + Z_{15} + Z_{17} + Z_{19} + Z_{20})i \\
&- Z_{19}I_{14} - Z_9I_{12} - Z_{19}I_{11}, \\
0 &= (Z_{18} + Z_{17} + Z \\
&+ Z_{16}i_9 + Z \\
0 &=
\end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned}
I_1 &= I_{bc2}(T); & I_2 &= I_{be2}(T); & I_3 &= I_{bc1}(T) / \beta_R(T); \\
I_4 &= I_{be1}(T) / \beta_F(T); & I_5 &= (I_{be1}(T) - I_{bc1}(T)) / Q; & I_1 &= I_{10} = I_{15}; \\
I_2 &= I_8 = I_{14}; & I_3 &= I_9 = I_{13}; & I_4 &= I_7 = I_{12}; \\
I_5 &= I_6 = I_{11}; & Z_{R1} &= R_1; & Z_{R2} &= R_2; \\
Z_{R3} &= R_3; & Z_l &= R'_b + j\omega L_b; & Z_2 &= -j / \omega C_{bx}(T); \\
Z_3 &= R_{bb}(T); & Z_4 &= -j / \omega C_{jbc}(T); & Z_5 &= -j / \omega C_{jbe}(T); \\
Z_6 &= R'_b + R & ; & Z_7 &= R'_b + R & ; & Z_1 &= Z_{14} = Z_{15}; \\
Z_2 &= Z_{13} = Z_{16}; & Z_3 &= Z_{12} = Z_{17}; & Z_4 &= Z_{10} = Z_{18}; \\
Z_5 &= Z_9 = Z_{19}; & Z_6 &= Z_8 = Z_{20}; & Z_7 &= Z_{11} = Z_{21}.
\end{aligned}$$

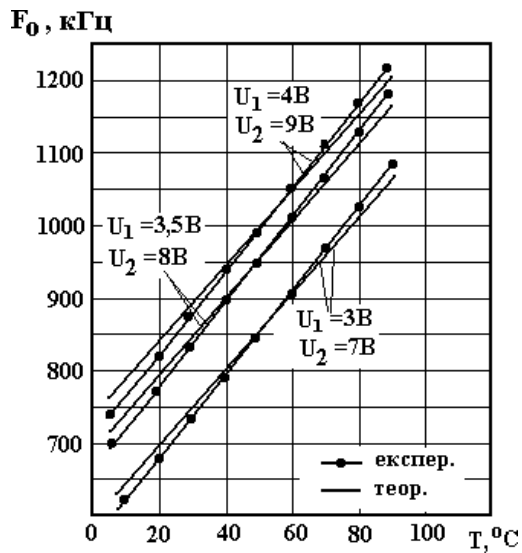


Рисунок 4 – Теоретичні і експериментальні залежності частоти генерації від температури

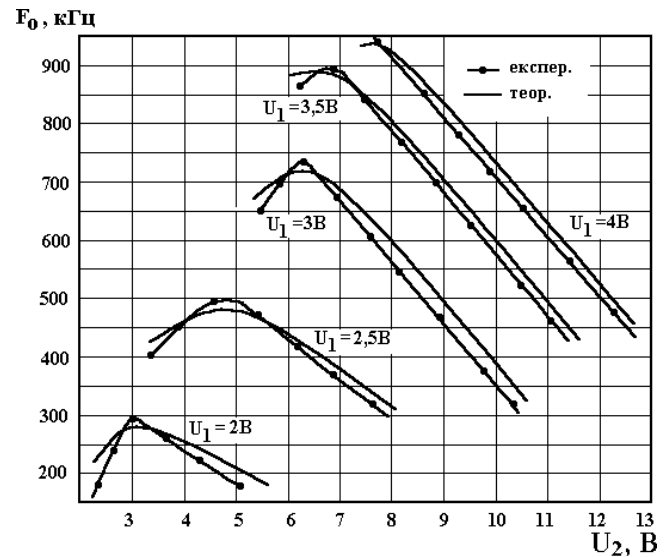


Рисунок 5 – Теоретичні та експериментальні залежності частоти генерації від напруги живлення

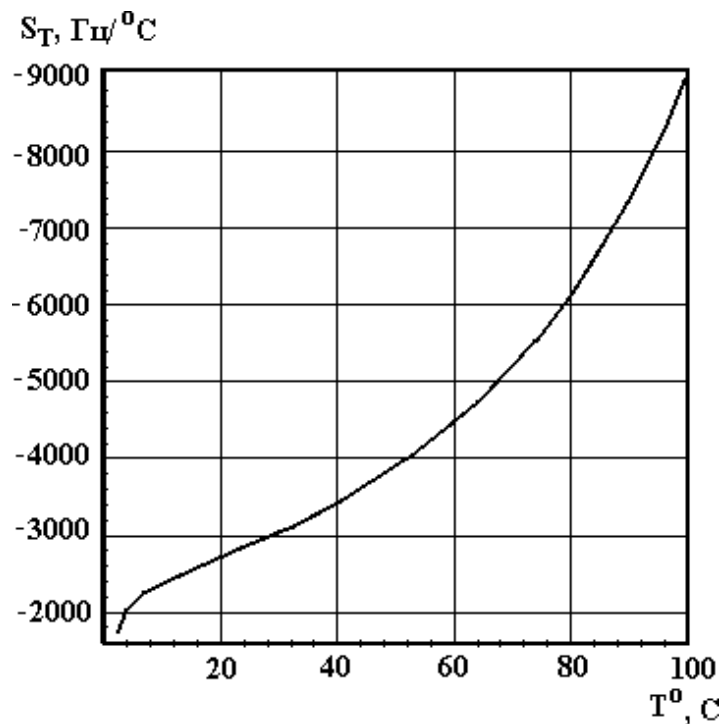


Рисунок 6 – Залежність чутливості перетворювача з активною індуктивністю від температури

Перетворювач вологості з частотним виходом

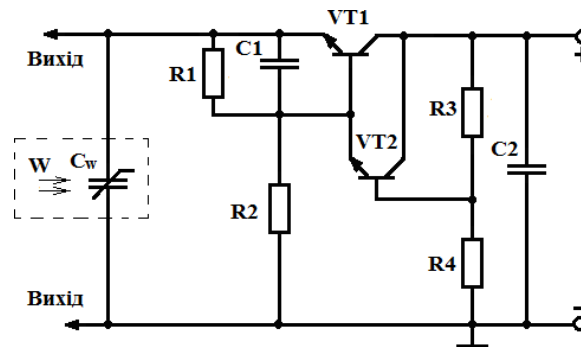


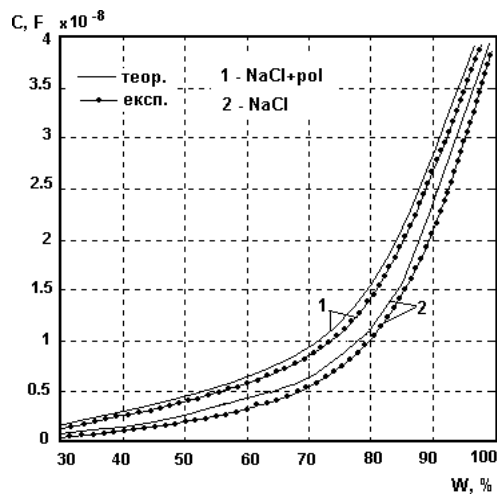
Рисунок 1 – Електрична схема перетворювача вологості з частотним ВИХОДОМ

Залежність ємності вологочутливого елемента від відносної вологості навколишнього середовища можна описати таким виразом:

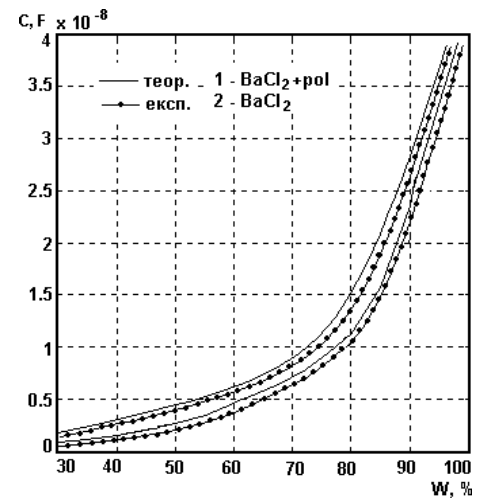
$$\text{де } \theta = \frac{S_M \sigma_{\text{соли}}}{S_M \sigma_{\text{соли}} + \frac{G \chi}{\rho_{H_2O}}};$$

$$\xi = \frac{S_{\text{пол}} d_{\text{пол}}}{S_{\text{пол}} d_{\text{пол}} + V_{H_2O}};$$

$$A_1 = 3(d/a)^{0,25} \quad ; \quad A_2 = 0,77b / [(2N - 1)(a + b)] + 0,41 .$$



а)



б)

Рисунок 2 – Теоретичні та експериментальні залежності ємності вологочутливих елементів від зміни відносної вологості повітря, виготовлених: а – на основі NaCl+полімер та NaCl; б – на основі BaCl₂+полімер та BaCl₂

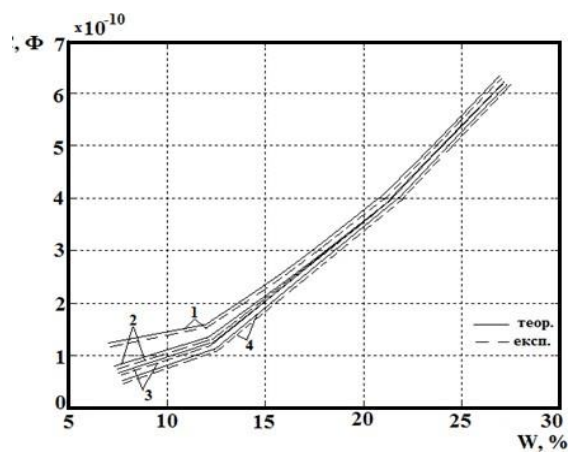


Рисунок 3 – Теоретичні та експериментальні залежності ємності від відносної вологості для ємнісних елементів виготовлених на основі комплексних сполук: 1 – III; 2 – IV; 3 – I; 4 – II

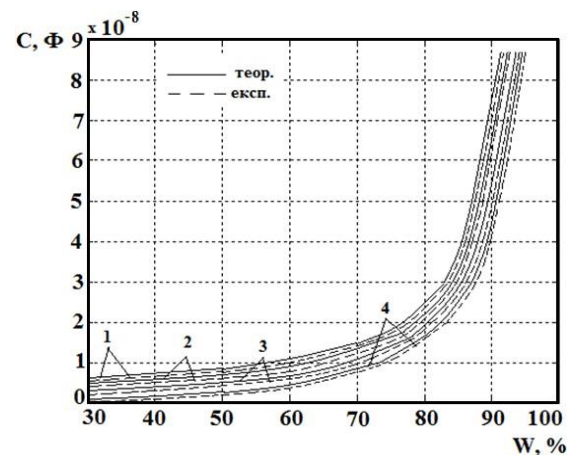
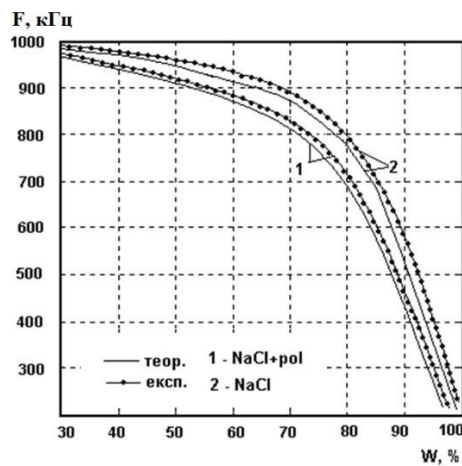


Рисунок 4 – Теоретичні та експериментальні залежності ємності від відносної вологості повітря для ємнісних елементів виготовлених на основі комплексних сполук: 1 – III; 2 – IV; 3 – I; 4 – II

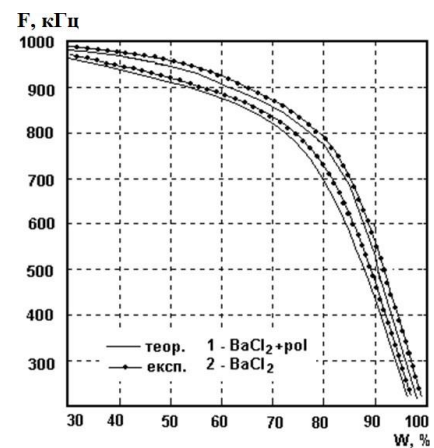
$$F = \frac{-6C_W(W) \pm 2\sqrt{9C_W^2(W) - 4R^2 C^2}}{2}$$

де $C_W(W)$ – ємність вологочутливого конденсатора; C_{EB1}, C_{EB2} – ємності р-п переходів емітер-база біполярних транзисторів VT1 та VT2; R_{B1}, R_{B2} – опір бази біполярних транзисторів VT1 та VT2.

Чутливість параметричного перетворювача вологості з частотним виходом з вологочутливим ємнісним елементом визначається на підставі виразу і описується рівнянням



а)



б)

Рисунок 5 – Теоретичні та експериментальні залежності частоти генерації перетворювача вологості з вологочутливими елементами, виготовлених: а – на основі NaCl+полімер та NaCl; б – на основі BaCl₂+полімер та BaCl₂

Мікроелектронний частотний перетворювач вологості з вологочутливим резистивним елементом

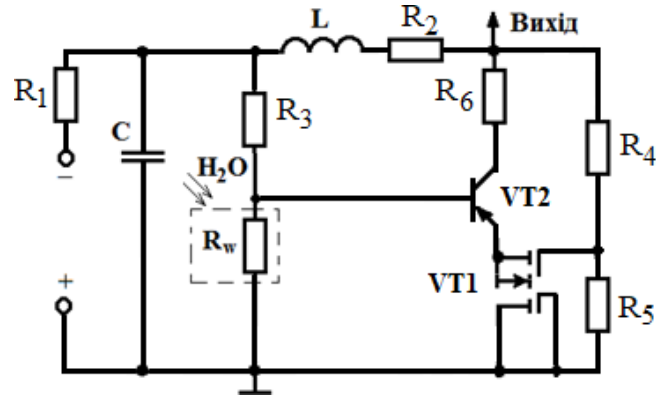


Рисунок 1 – Електрична схема мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом

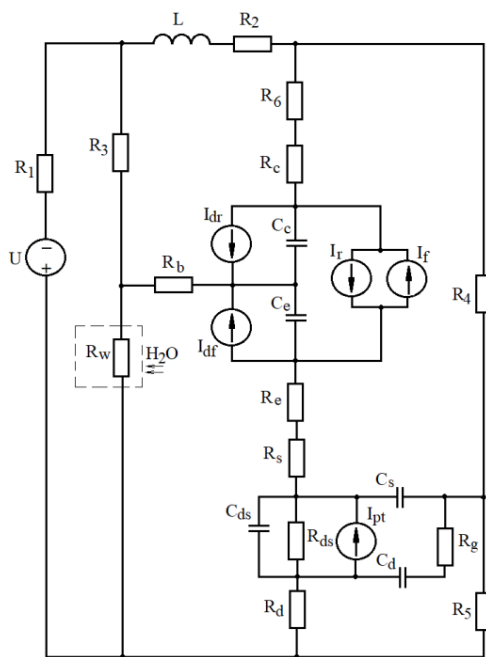


Рисунок 2 – Еквівалентна схема мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом

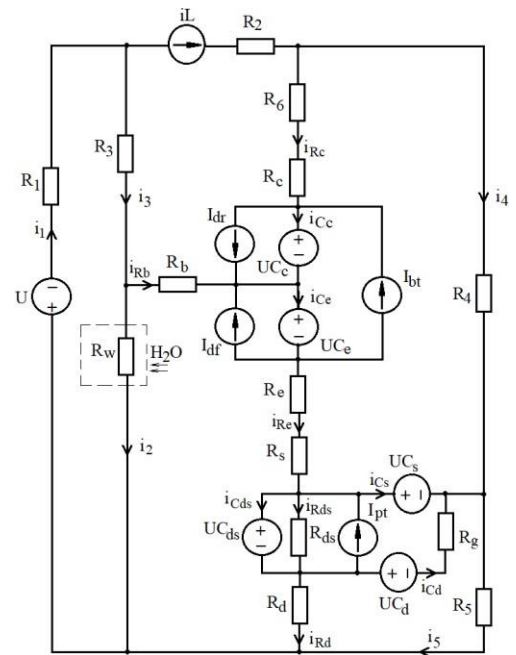
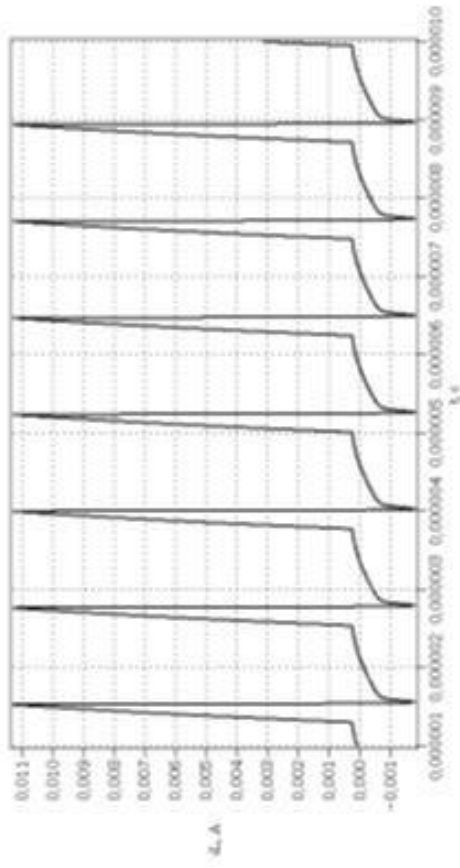


Рисунок 3 – Перетворена еквівалентна схема мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом

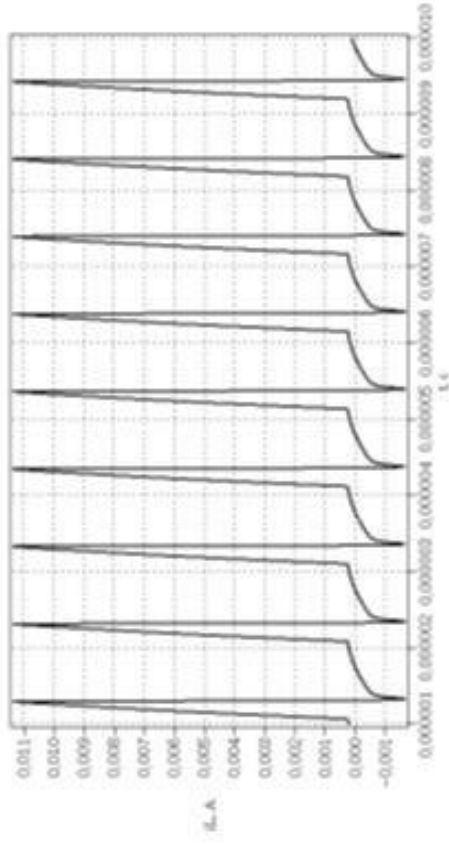
На основі вибраних напрямків струмів було складено систему рівнянь Кірхгофа:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_L = i_{R_b} R_b + i_3 R_3 - i_L R_2 - i_{R_c} (R_c + R_6) - U_{C_c}, \\ i_{R_{ds}} = \frac{U_{C_{ds}}}{R_{ds}}, \\ i_{C_d} = \frac{U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_d}}{R_g}, \\ i_{R_b} = \frac{i_2 R_W - U_{C_c} - U_{C_{ds}} - i_{R_d} R_d - i_{R_e} (R_e + R_s)}{R_b}, \\ i_{C_{ds}} = \frac{i_{R_d} + i_{C_d} + I_{pt} - i_{R_{ds}}}{i_4 R_4 - U_{C_c} - U_{C_s} - U_{C_e} - i_{R_e} (R_e + R_s)}, \\ i_{R_c} = \frac{R_c + R_6}{U_{C_d} + i_5 R_5 + i_{C_d} R_g}, \\ i_{R_d} = \frac{U_{C_d}}{R_d}, \\ i_{R_e} = i_{R_c} + i_{R_b}, \\ i_{C_s} = I_{pt} + i_{R_e} - i_{R_{ds}} - i_{C_{ds}}, \\ i_3 = i_1 - i_L, \\ i_{C_c} = I_{bt} + i_{R_c} - I_{dr}, \\ i_{C_e} = I_{bt} + i_{R_e} + I_{df}, \\ i_5 = i_4 + i_{C_s} + i_{C_d}, \\ i_2 = i_3 - i_{R_b}, \\ i_4 = i_L - i_{R_c}, \\ i_1 = \frac{-(U + i_3 R_3 + i_2 R_W)}{R_d}, \end{array} \right.$$

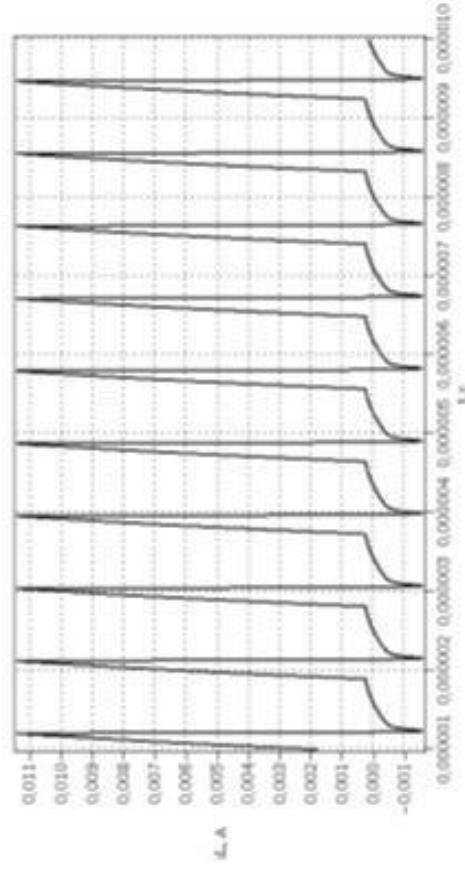
де R_1 – внутрішній опір джерела постійної напруги; R_2, R_6 – навантажувальні опори; R_3, R_4, R_5 – опори ділянок напруги; $R_b, R_e, R_c, R_g, R_d, R_s$ – об’ємні опори бази, емітера, колектора, затвору, стоку та витоків; R_{ds} – опір стік-витік; C_e, C_c – ємності емітерного та колекторного переходів; C_d, C_s, C_{ds} – ємності затвор-стік, затвор-витік та стік-витік; R_W – вологочутливий резистор; L – індуктивність; U – джерело живлення постійної напруги; I_{pt} – струм польового транзистора; I_{dr}, I – струми внутрішніх переходів база-колектор та база-емітер; I_f, I_r – прямий та зворотній струми біполярного транзистора.



$$R_W(W) = 10 \text{ kOhm}, F = 827,7 \text{ kHz}$$



$$R_W(W) = 13 \text{ kOhm}, F = 953,1 \text{ kHz}$$



$$R_W(W) = 16 \text{ kOhm}, F = 1054,5 \text{ kHz}$$

Рисунок 4 – Зміна струму індуктивності від часу при різних значеннях опору вологочутливого резистивного елемента

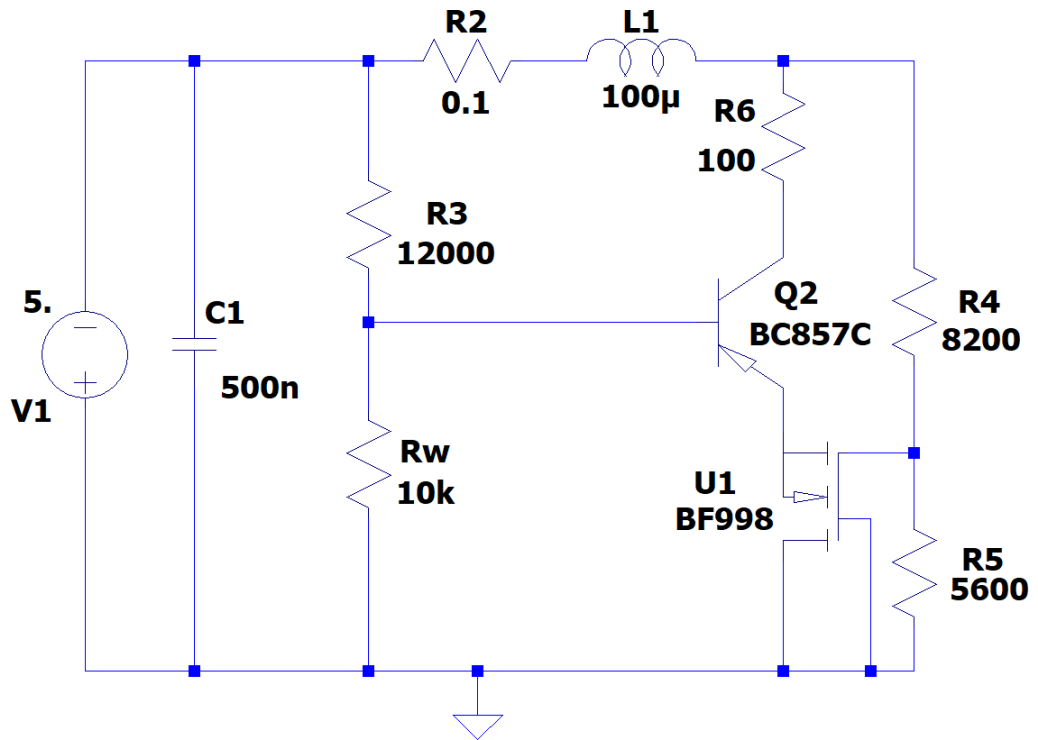


Рисунок 5 – Електрична схема мікроелектронного частотного перетворювача вологості в *LTSpice*

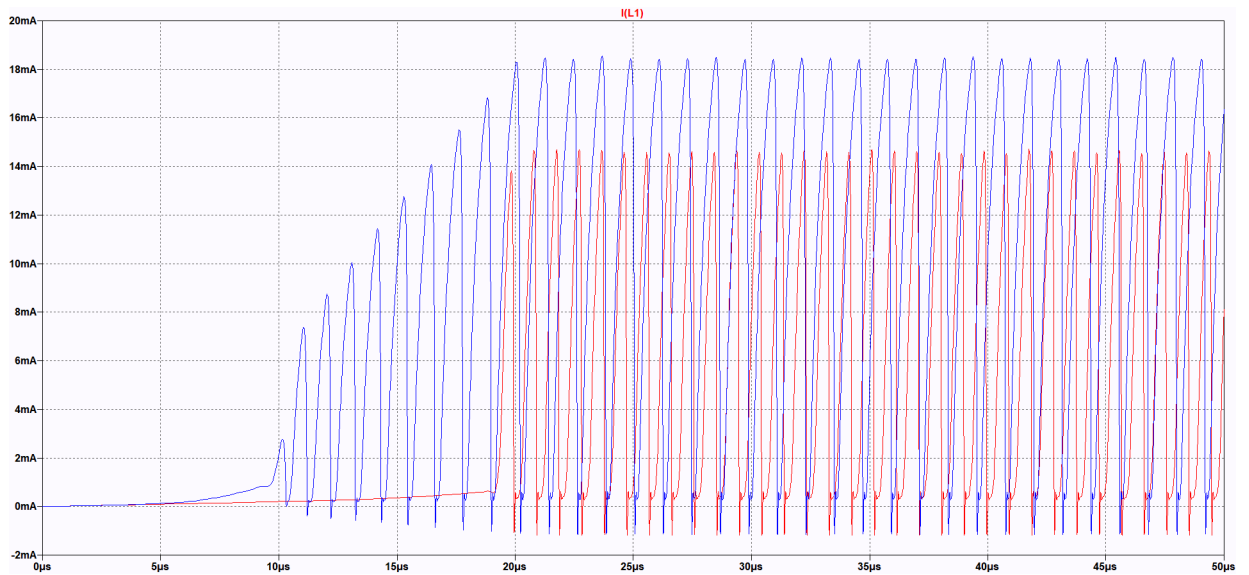


Рисунок 6 – Експериментальна залежність струму індуктивності від часу при різних значеннях опору вологочутливого резистивного елемента в *LTSpice*

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

**РАДІОВИМІРЮВАЛЬНІ ЧАСТОТНІ СЕНСОРИ ТЕМПЕРАТУРИ
ТА ВОЛОГОСТІ ДЛЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ХМАРНИХ СИСТЕМ**

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

Назва роботи: «Радіовимірювальні частотні сенсори температури та вологості для спеціалізованих хмарних платформ»

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра ІРТС

(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unischek

Оригінальність 85,0%

Схожість 15,0%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

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

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Звягін О.С.

(прізвище, ініціали)

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

Автор роботи


(підпис)

Родінков Ю. М.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Осадчук О. В.

(прізвище, ініціали)