Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра радіотехніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до магістерської кваліфікаційної роботи
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
на тему:

РОЗРОБКА АВТОГЕНЕРАТОРНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

08-36.МКР.001.00.000 ПЗ

Виконав: ст. 2–го курсу, групи РТ–19м з/в
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка Освітня програма: Радіотехніка
_____Кужильний О.О.

Керівник: к.т.н., доц. каф. РТ
_____ Звягін О.С.
«____» _____ 2021 р.

Рецензент: к.т.н., доцент. каф. ТКСТБ
_____Семенова О.О.
«____» _____ 2021 р.

Вінниця ВНТУ – 2021 рік

Вінницький національний технічний університет

Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра Радіотехніки
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
Освітня програма – Радіотехніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри РТ
д.т.н., професор О.В. Осадчук
“_10_”____03_____2021 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАҐІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Кужильному Олександру Олександровичу

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка автогенераторного засобу для вимірювання вологості» керівник роботи к.т.н., доцент Звягін Олександр Сергійович
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від “09” 03 2021 року №64

2. Строк подання студентом роботи 06 червня 2021 року.

3. Вихідні дані до роботи: напруга живлення до 10 В, струм споживання не більше 100 мА, діапазон вимірювання відносної вологості від 30 % до 100 %, амплітуда вихідного сигналу не менше 2 В, частота вихідного сигналу не менше 500 кГц.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз сучасного стану розвитку вимірювальних засобів вологості; обґрунтування вибору первинного сенсора для вимірювання відносної вологості повітря; розробка автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря; економічна частина, безпека життєдіяльності; висновки; перелік посилань; додатки.

5. Перелік ґрафічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень):
Структурна схема автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря, первинний сенсор для вимірювання відносної вологості повітря; схема електрична принципова автогенераторного засобу для вимірювання вологості повітря з ємнісним сенсором; еквівалентна схема автогенераторного засобу для вимірювання вологості з ємнісним сенсором, схема електрична принципова автогенераторного засобу для вимірювання вологості повітря з резистивним сенсором.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 11 березня 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд літературних джерел. Вибір, узгодження та затвердження теми МКР	03.09.2020-31.12.2021	
2.	Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів	07.01.2021-14.02.2021	
3.	Затвердження теми. Розробка технічного завдання	15.02.2021-10.03.2021	
4.	Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми	01.03.2021-21.03.2021	
5.	Електричні розрахунки. Експериментальне дослідження	22.03.2021-11.04.2021	
6.	Розділ моделювання	12.04.2021-19.04.2021	
7.	Розробка графічної частини МКР	20.04.2021-30.04.2021	
8.	Аналіз економічної ефективності розробки	01.05.2021-14.05.2021	
9.	Охорона праці (ОП)	15.05.2021-20.05.2021	
10	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	21.05.2021-26.05.2021	
11.	Нормоконтроль	27.05.2021-31.05.2021	
12.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР	01.06.2021-06.06.2021	
13.	Захист МКР ЕК	07.06.2021-11.06.2021	

Студент _____ Кужильний О.О.
(підпис)

Керівник роботи _____ Звягін О.С.
(підпис)

РЕФЕРАТ

УДК 621.382

Кужильний О. О. Розробка автогенераторного засобу для вимірювання вологості. Магістерська кваліфікаційна робота із спеціальності 172 – «Телекомунікації та радіотехніка» – Вінниця: ВНТУ 2021 р. – 141 стор., 51 рис., 17 таб., – українською мовою.

У роботі наведено результати розробки та дослідження автогенераторного засобу для вимірювання вологості на основі транзисторних структур з від'ємним диференційним опором. Проведено обґрунтування вибору вологочутливого сенсора відносної вологості повітря та вибір частотного перетворювача на основі транзисторної структури з від’ємним опором. Розроблено фізико-математичну модель вологочутливого ємнісного сенсора, яка дозволяє встановити залежність електричної ємності від кількості відносної вологості повітря. Розроблено математичну модель автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря з вологочутливим ємнісним сенсором. Розроблено математичну модель автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря з вологочутливим резистивним сенсором. Розроблені математичні моделі дають можливість отримати аналітичні залежності функцій перетворення і рівнянь чутливості, які відрізняються від існуючих тим, що в них враховано вплив відносної вологості повітря на частоту коливань автогенераторного засобу.

Графічна частина складається з 6 плакатів із результатами дослідження.

Також у роботі розроблено розділи економічної частини, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: сенсор вологості, частотний перетворювач, відносна вологість, математична модель.

ABSTRACT

Kygulnyi O. O. Development of an autogenerator for measuring humidity. Master's qualification work in the field of training "Radio Engineering" – Vinnitsa: VNTU, 2021. – 141 p., Fig. 51, Tab. 17. – Ukrainian language

The paper presents the results of development and research of the autogenerator for measuring humidity on the basis of transistor structure with negative differential resistance. The substantiation of the choice of the moisture-sensitive sensor of relative humidity of air and the choice of the frequency converter on the basis of the transistor structure with negative resistance is carried out. A physico-mathematical model of a moisture-sensitive capacitive sensor has been developed, which allows to establish the dependence of the electric capacity on the amount of relative humidity. A mathematical model of an autogenerator tool for measuring the relative humidity with a moisture-sensitive capacitive sensor has been developed. A mathematical model of an autogenerator tool for measuring the relative humidity with a moisture-sensitive resistive sensor has been developed. The developed mathematical models make it possible to obtain analytical dependences of the transformation functions and sensitivity equations, which differ from the existing ones in that they take into account the influence of relative humidity on the oscillation frequency of the autogenerator.

The graphic part consists of 6 posters with the results of the study.

Sections of the economic part, labor protection and safety in emergency situations are also developed in the work.

Key words: humidity sensor, frequency converter, relative humidity, mathematical model.

З М І С Т

ВСТУП 10

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВОЛОГОСТІ 13

1.1 Основні теоретичні положення про від’ємний опір 13

1.1.1 Поняття про від’ємний опір 13

1.1.2 Комплексний характер від'ємного опору 14

1.1.3 Вид вольт-амперної характеристики і її залежність від типу зворотного зв'язку 16

1.2 Сучасні перетворювачі вологості 20

1.3 Частотні перетворювачі інформації на основі транзисторних структур з від’ємним пором 32

1.4 Висновки до розділу 1 37

2 ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СЕНСОРА ВІДНОСНОЇ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ 38

2.1 Сенсори вологості повітря 38

2.2 Математична модель ємнісного сенсора вологості 42

2.3 Висновки до розділу 2 51

3 РОЗРОБКА АВТОГЕНЕРАТОРНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВІДНОСНОЇ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ 52

3.1 Обгрунтування вибору вторинного перетворювача відносної вологості повітря 53

3.2 Математична модель автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря з вологочутливим ємнісним сенсором 59

3.3 Математична модель автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря з вологочутливим резистивним сенсором 68

3.4 Висновки до розділу 3 75

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 77

4.1 Визначення наукового та технічного рівня науково-дослідної роботи 77

4.2 Оцінювання комерційного потенціалу розробки 78

4.3 Розрахунок витрат на проведення НДДКР з дослідження автогенераторного засобу для вимірювання вологості 81

4.4 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки 88

4.5 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності 91

4.6 Висновки до розділ 94

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ... 96

5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи 97

5.1.1. Обладнання приміщення та робочого місця 97

5.1.2. Електробезпека приміщення 100

5.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії 102

5.2.1 Мікроклімат 102

5.2.2 Склад повітря робочої зони 103

5.2.3. Виробниче освітлення 104

5.2.4. Виробничий шум 105

5.2.5 Виробничі випромінювання 106

5.2.6 Психофізіологічні фактори..... 106

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи автогенераторного засобу для вимірювання вологості в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій 108

5.3.1 Дослідження безпеки роботи вимірювача вологості в умовах дії іонізуючих випромінювань 109

5.3.2 Дослідження безпеки роботи автогенераторного засобу вимірювача вологості в умовах дії електромагнітного імпульсу..... 111

5.4 Розробка заходів по підвищенню безпечної роботи автогенераторного засобу вимірювача вологості в умовах надзвичайних ситуацій 112

ВИСНОВКИ 114

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... 117

Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання ..……...124

Додаток Б (обов'язковий) Структурна схема ……...……...…...130

Додаток В (обов'язковий) Ємнісний вологочутливий сенсор ……..…….....132

Додаток Г (обов'язковий) Схема електрична принципова з ємнісним сенсором…….134

Додаток Д (обов'язковий) Схема еквівалентна електрична з ємнісним сенсором …..136

Додаток Е (обов'язковий) Схема електрична принципова з резистивним сенсором……..…….138

Додаток Ж (обов’язковий) Схема еквівалентна електрична з резистивним сенсором ……..140

ВСТУП

Актуальність. Випереджаючий розвиток контрольно-вимірювальних систем, основою яких є сенсори, насамперед обумовлений швидким розвитком науково-технічного прогресу, а також удосконаленням технологій мікроелектроніки. Сучасний розвиток сенсорної техніки описаний у наукових роботах [1-30].

Необхідність вимірювання рівня відносної вологи при виконанні різних фізико-технологічних, біологічних та хімічних процесів пред’являють підвищені вимоги щодо характеристик первинних перетворювачів вологості, а саме: економічність, надійність, точність та чутливість до вимірювального параметру, малі габаритні розміри, масу та енергоспоживання, інформативну, конструктивну і технологічну сумісність з мікроелектронними засобами обробки інформації та можливість виготовлення за стандартною груповою інтегральною технологією. Перспективним науковим напрямком є розробка та створення перетворювачів, які реалізують принцип перетворення «вологість-частота», на основі реактивних властивостей напівпровідникових структур з від’ємним опором [8, 9, 31-35].

У перетворювачах такого типу виконується перетворення вологості на частоту, що дозволяє виготовляти перетворювачі за інтегральною технологією, значно підвищити чутливість, розширити діапазон вимірюваних величин, поліпшити надійність і довгочасову стабільність параметрів. Використання в якості інформативного параметра частоти виключає застосування аналого-цифрових перетворювачів для обробки інформації, що знижує собівартість систем контролю та управління [36].

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота виконувалася у Вінницькому національному технічному університеті згідно з планом наукових досліджень Вінницького національного технічного університету в рамках держбюджетної теми: 32–Д–395 «Розроблення та дослідження радіовимірювальних частотних параметричних

мікроелектронних приладів фізичних величин для військових та цивільних об'єктів» (2021 р.).

Метою роботи є розробка та дослідження автогенераторного засобу для вимірювання вологості повітря на основі транзисторної структури з від’ємним опором.

Для досягнення поставленої мети в магістерській кваліфікаційній роботі необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати існуючі перетворювачі вологості та обгрунтувати переваги перетворювачів вологості з частотним виходом по відношенню до існуючих;

- розробити математичну модель ємнісного вологочутливого елементу, що являє собою систему V-подібних та трапецієподібних електродів;

- розробити математичні моделі автогенераторного засобу для вимірювання вологості, на основі яких отримати аналітичну залежність функцій перетворення та рівняння чутливості;

- виконати експериментальну перевірку залежностей електричних параметрів та характеристик розроблених математичних моделей.

Об’єктом дослідження є процес перетворення відносної вологості повітря у частотний сигнал в чутливих напівпровідникових структурах.

Предмет дослідження – статичні та динамічні характеристики автогенераторного засобу для вимірювання вологості повітря на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від’ємним опором.

Методи дослідження ґрунтуються на використанні:

- рівнянь математичної фізики під час розробки математичних моделей первинних перетворювачів вологості;

- основних положень теорії функції комплексної змінної для визначення функції перетворення та рівняння чутливості;

- диференціального та інтеґрального числення для створення математичних моделей;

- теорії розрахунку нелінійних електричних кіл з використанням законів Кірхґофа та методу змінних станів.

Наукова новизна одержаних результатів

1) Отримано аналітичну залежність для вологочутливого ємнісного сенсора, яка відрізняється від існуючих тим, що в ній враховано вплив вологості, яка приводять до зміни електрофізичних параметрів (діелектричної проникності, ємності) та дозволяє визначити значення електричної ємності сенсора вологості.

2) Розроблено математичні моделі автогенераторних засобів для вимірювання відносної вологості з ємнісним та резистивним вологочутливими сенсорами, які відрізняються від існуючих тим, що в них враховано вплив вівдносної вологості повітря на частоту коливань автогенераторів з від'ємним опором.

Практичне значення одержаних результатів

1) В результаті математичного моделювання отримано аналітичний вираз для визначення електричної ємності сенсора вологості, який може бути використаним для інженерного розрахунку первинних перетворювачів відносної вологості повітря;

2) Отримані аналітичні вирази для функції перетворення та чутливості розробленого автогенераторного засобу для вимірювання вологості повітря на основі транзисторної структури з від'ємним опором, які можуть бути використані для інженерноґо розрахунку.

Особистий внесок здобувача

Основні положення і результати магістерської кваліфікаційної роботи отримані автором самостійно.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВОЛОГОСТІ

1.1 Основні теоретичні положення про від’ємний опір

1.1.1 Поняття про від’ємний опір

Розвиток електроніки сприяв створенню як напівпровідникових приладів, так і інтегральних схем із від'ємним опором (ВО) або з від'ємною провідністю (ВП) у широкому діапазоні частот. Такі пристрої мають вольт-амперну характеристику, на одній із ділянок якої диференціальний опір має від'ємний знак. Наявність зворотного додатного зв'язку по струму або напрузі усередині самої структури дозволяє значно спростити радіоелектронні пристрої на основі таких структур. Багатофункціональність і простота радіоелектронних пристроїв на основі структур з ВО показує їхню широку перспективу практичного використання. Оскільки в напівпровідникових приладах реактивні властивості і від'ємний опір нерозривно пов'язані між собою, то дослідження і практичне використання реактивних властивостей приладів для створення різноманітних радіоелектронних пристроїв неможливо без вивчення властивостей від'ємного опору [8].

Елементи електричного ланцюга, що працюють на постійному і змінному струмі, споживають відповідно потужність по постійному струму

$$P_0 = U_0 I_0 \tag{1.1}$$

і потужність по змінному струму

$$P_{\sim} = U_{\sim} I_{\sim} = U_m \sin(\omega \cdot t + \varphi) \cdot I_m \sin \omega \cdot t. \tag{1.2}$$

З іншої сторони, відповідно до теорії електричних ланцюгів, рівняння (1.2) може бути записане у вигляді [2]:

$$P_{\sim} = \frac{1}{T} \int_0^T U_{\sim} I_{\sim} dt, \tag{1.3}$$

де $I_{\sim}$, $U_{\sim}$ - миттєві значення струму і напруги;

I_m, U_m - амплітудні значення струму і напруги;

φ - фазовий зсув між струмом $I_{\sim}$ і напругою $U_{\sim}$;

T - період коливання.

Аналіз (1.1) показує, що елемент електричного ланцюга на постійному струмі завжди є тільки споживачем енергії. Проте на змінному струмі це не завжди так. При $\varphi = 0$ потужність, що виділяється на елементі $P_{\sim} > 0$, і в цьому випадку він теж є споживачем енергії змінного поля. Якщо зсув фаз між змінним струмом і напругою, рівний $\pi/2$, повний опір елемента має реактивний характер, що відповідає $P_{\sim} = 0$. Таким чином, при виконанні умови $0 < |\varphi| < \pi/2$, елемент є споживачем енергії змінного поля. У випадках, коли $\pi/2 < |\varphi| < \pi$ або $\pi < |\varphi| < 3/2\pi$, елемент уже не є споживачем енергії змінного поля, а сам є її джерелом, тому що $P_{\sim} < 0$. Зі значеннями $P_{\sim} < 0$ відношенню $U_{\sim} / I_{\sim}$ буде відповідати від'ємний опір, що має вигляд [8]:

$$\dot{Z}^{(-)} = \frac{U_{\sim}}{I_{\sim}} < 0. \qquad (1.4)$$

Рівняння (1.4) також визначає від'ємну провідність (ВП):

$$\dot{Y}^{(-)} = \frac{1}{\dot{Z}^{(-)}} < 0. \qquad (1.5)$$

Величини (1.4) і (1.5) є диференціальними і при їхньому вмиканні в електричний ланцюг компенсують втрати енергії в ньому. Таким чином, від'ємний опір є елементом, що перетворює енергію постійного електричного поля в енергію змінного електричного поля [8].

1.1.2 Комплексний характер від'ємного опору

Від'ємний опір (1.4) можна представити в комплексній формі [8]:

$$\dot{Z}^{(-)} = Z_0^{(-)} e^{j\varphi} = Z_0^{(-)} \cos\varphi + jZ_0^{(-)} \sin\varphi, \qquad (1.6)$$

де $Z_0^{(-)}$ - модуль від'ємного опору.

Зсув фаз між миттєвими значеннями струму і напруги визначає характер від'ємного опору. Якщо виконані умови $\pi/2 < |\varphi| < \pi$ або $\pi < |\varphi| < 3/2\pi$ від'ємний опір набуває комплексного вигляду [8]:

$$\dot{Z}^{(-)} = R_0^{(-)} + jX_0^{(-)}, \qquad (1.7)$$

де $R_0^{(-)} = Z_0^{(-)} \cos\varphi$ - активна складова від'ємного опору;

$X_0^{(-)} = Z_0^{(-)} \sin\varphi$ - реактивна складова від'ємного опору.

Аналіз (1.7) показує, що якщо $|\varphi|=\pi$, то $Z_0^{(-)} = R_0^{(-)}$. Як відомо, комплексне число можна представити на площині комплексного змінного (рис 1.1) [8].

При $jX_0^{(-)} < 0$ реактивна складова має ємнісний характер, а при $jX_0^{(-)} > 0$ - індуктивний. За рахунок активної складової $R_0^{(-)}$ компенсуються втрати енергії в електричному ланцюзі. Реактивна складова повного опору з від'ємною активною складовою може використовуватися для компенсації реактивної складової протилежного знака або додаватися до реактивної складової одного знака. На рисунку 1.2,а [8] показаний випадок повної компенсації ємнісної складової індуктивним опором, який залучено до ланцюга з від'ємним опором. У такому ланцюзі виникають незатухаючі електричні коливання.

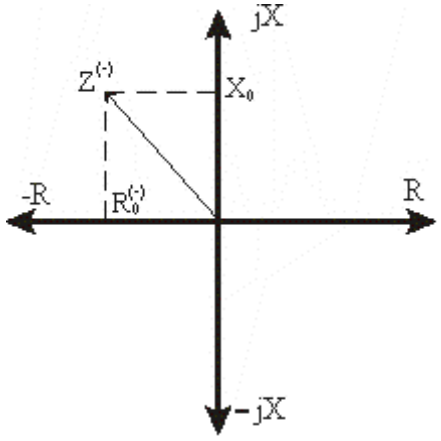
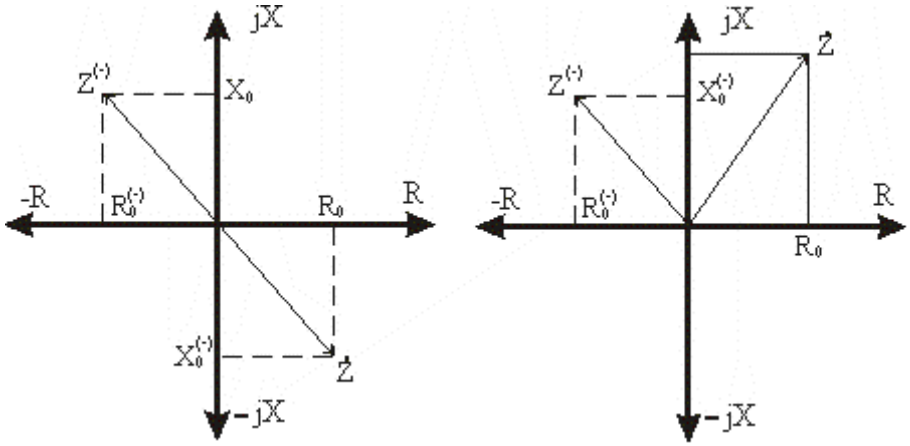


Рисунок 1.1 – Представлення комплексного від'ємного опору

На рисунку 1.2,б [8] показаний випадок неповної компенсації повного опору Z, що залучений до від'ємного опору $Z_0^{(-)}$. Як видно з рисунку 1.2,б, активні складові частково компенсуються, а реактивні складові мають однаковий характер, що приводить до зростання сумарної реактивності кола.



а) б)

Рисунок 1.2 – Повна компенсація комплексного опору $\dot{Z}$ від'ємним опором $Z^{(-)}$ (а) і часткова (б)

Аналогічні міркування справедливі і для повної провідності з від'ємним значенням активної складової. У комплексній формі від'ємна провідність має вигляд [8]:

$$\dot{Y}^{(-)} = G_0^{(-)} + jY_0^{(-)}, \tag{1.8}$$

де $G_0^{(-)}$ - активна складова від'ємної провідності;

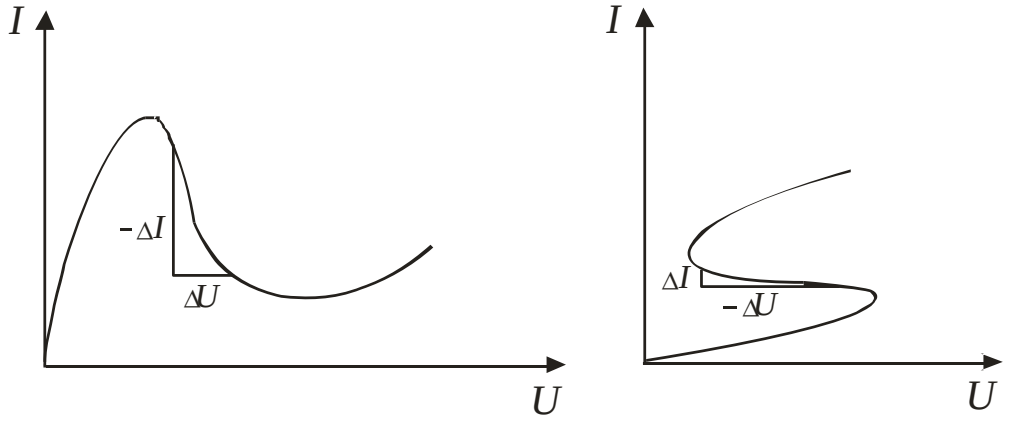
$Y_0^{(-)}$ - реактивна складова від'ємної провідності.

1.1.3 Вид вольт-амперної характеристики і її залежність від типу зворотного зв'язку

У приладах із від'ємним опором або провідністю вольт-амперна характеристика має ділянку, на якій позитивному збільшенню напруги відповідає від'ємне збільшення струму і навпаки (рис. 1.3) [31]. На такій ділянці диференціальний опір і провідність будуть мати від'ємне значення:

$$R_0^{(-)} = -\frac{dU}{dI} \approx -\frac{\Delta U}{\Delta I}, \tag{1.9}$$

$$G_0^{(-)} = -\frac{dI}{dU} \approx -\frac{\Delta I}{\Delta U}. \qquad (1.10)$$



а) б)

Рисунок 1.3 – Статичні вольт-амперні характеристики приладів з від'ємним опором N-типу (а) і S-типу (б)

У цьому випадку такі прилади віддають у зовнішнє навантаження потужність по змінному струму, що пропорційна квадрату збільшення струму або напруги [31]:

$$P_{\sim}^{(-)} = 0{,}5(\Delta I)^2 R_0^{(-)}, \qquad (1.11)$$

$$P_{\sim}^{(-)} = 0{,}5(\Delta U)^2 G_0^{(-)}. \qquad (1.12)$$

З рівнянь (1.11) і (1.12) очевидно, що коефіцієнтом пропорційності є від'ємний опір $R_0^{(-)}$ і від'ємна провідність $G_0^{(-)}$. Під приладами з від'ємним опором розуміють такі прилади, що у визначеному діапазоні змін напруги і струму мають властивості від'ємного опору або від'ємної провідності. При цьому на їхніх вольт-амперних характеристиках існує ділянка, де диференціальний опір або диференціальна провідність приладу має від'ємне значення. Ділянка від'ємного опору або від'ємної провідності може бути як на динамічній, так і на статичній вольт-амперних характеристиках. Динамічні вольт-амперні характеристики з ВО і ВП властиві магнетронам, клістронам, генераторним або підсилювальним пристроям із напівпровідниковими приладами. Статичні вольт-амперні характеристики з ВО і ВП мають напівпровідникові прилади такі як

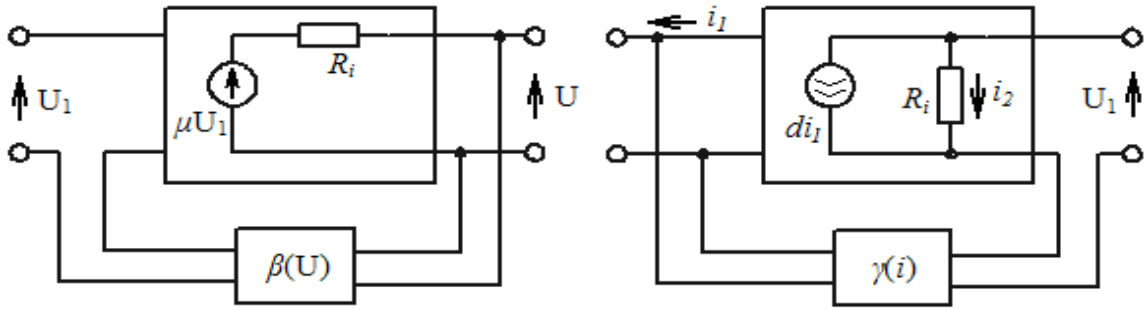
тунельні діоди, діоди Ганна, одноперехідні транзистори, динистори, тринистори, бінистори, довгі діоди, лямбда-діоди, лавинні транзистори, тунельнорезонансні транзистори, інжекційно-польові транзистори, лямбда-транзистори й інші [31].

Прилади з вольт-амперними характеристиками (рис. 1.3 а, б) [31] мають ряд загальних властивостей і закономірностей, до яких відноситься внутрішній позитивний зв'язок по напрузі або струму. Існування зовнішнього зворотного позитивного зв'язку в напівпровідникових приладах приводить до появи ділянок ВО і ВП на вольт-амперних характеристиках.

Зворотний зв'язок у такому розумінні, у якому він використовується в радіотехніці, не може застосовуватися до напівпровідникових приладів із від'ємним опором, тому що різноманітні фізичні процеси, що приводять до появи від'ємного опору, не можуть бути еквівалентні пасивним чотирьохполюсникам зворотного зв'язку. Поняття позитивного і від'ємного зворотного зв'язку розглянемо на прикладі рисунку 1.4 [31], на якому показані чотирьохполюсники зі зворотним зв'язком по напрузі (а) і по струму (б). За рахунок зворотного зв'язку частина вихідного сигналу підсилювача надходить на його вхід. Якщо чотирьохполюсник зворотного зв'язку має таку фазову характеристику, при якій сигнал, що пройшов через ланцюг зворотного зв'язку, збігається по фазі з вхідним сигналом, то будь-яке збільшення вихідного сигналу приведе до збільшення сигналу на вході, що, посилюючись у підсилювачі в α разів, буде викликати додаткове збільшення сигналу на вході. Такий зворотний зв'язок називається позитивним. При зсуві фаз, рівному $180°$, у схемі можуть виникнути періодичні коливання. Якщо чотирьохполюсник зворотного зв'язку має таку фазову характеристику, з якою сигнал, що пройшов через ланцюг зворотного зв'язку, виявиться в протифазі, то дія ланцюга зворотного зв'язку буде зменшувати будь-яке збільшення вхідного сигналу. Такий зворотний зв'язок називається від'ємним.

Проте поняття «зворотний зв'язок» можна використовувати ширше, застосовуючи його не тільки до пристроїв, що відносяться до радіотехніки, для яких справедлива теорія зворотного зв'язку, але і розглядаючи процеси у

твердому тілі, напівпровідникових приладах із від'ємним опором, живих організмах і навіть стосовно до явищ громадського життя [8].



а) б)

Рисунок 1.4 – Чотириполюсники із зворотним зв’язком за напругою (а) і за струмом (б)

Під додатним зворотним зв'язком розуміється також взаємодія між елементами, що входять у систему або процесами в ній, у результаті котрих будь-які зміни в системі стимульовані впливом викликають подальшу їхню зміну в ту ж сторону [8].

Під від'ємним зворотним зв'язком розуміються зміни, стимульовані зовнішнім впливом, що викликають реакцію системи, що гальмують ці зміни. У напівпровідникових приладах, на відміну від електронних схем із зворотними зв'язками, зворотний зв'язок є внутрішнім. У випадку внутрішнього зворотного зв'язку також можна говорити про "об'єкти", охоплені зворотним зв'язком. Такими "об'єктами" можуть бути фізичні явища і механізми, що приводять до зміни провідності приладу. У еквівалентних схемах приладів їх можна моделювати схожими за фізичним змістом електричними елементами.

Зворотний зв'язок по струму або напрузі в реальних пристроях залежить від часу, тобто є інерційним. Це явище дозволяє встановити взаємозв'язок між типом зворотного зв'язку і характером реактивності, виходячи з фізичних понять. Дійсно, якщо зворотний позитивний зв'язок здійснюється по струму, то при проходженні сигналу по ланцюзі зворотного зв'язку, відбувається запізнення струму щодо зовнішнього впливу, що відповідає індуктивному характеру

реактивності. При здійсненні зворотного зв'язку по напрузі відбувається запізнення напруги щодо зовнішнього впливу, що відповідає ємнісному характеру реактивності повного опору пристрою.

Прилади з від'ємним опором, що володіють внутрішнім позитивним зворотним зв'язком по напрузі, мають на статичній вольт-амперній характеристиці ділянку від'ємної провідності і ємнісний характер реактивності. Прилади з внутрішнім позитивним зворотним зв'язком по струму мають на статичній вольт-амперній характеристиці ділянку від'ємного опору й індуктивний характер реактивності.

На підставі цієї теореми, виходячи з типу зворотного зв'язку можна заздалегідь встановити вид статичної вольт-амперної характеристики і характер реактивності приладу і, навпаки, по вигляду його статичної вольт-амперної характеристики визначити тип внутрішнього зворотного зв'язку і характер реактивності.

1.2 Сучасні перетворювачі вологості

На теперішній час серед первинних перетворювачів різного типу особливе місце у вимірювальній техніці займають сенсори вологості. Необхідність контролю вологості у промисловості, а також у побуті робить актуальною проблему розроблення і дослідження сенсорів вологості різних типів, принцип дії яких базується на зміні електрофізичних параметрів [9]. Раніше до цього класу сенсорів використовувались людський або кінський волос, який в залежності від зміни вологості подовжувався або скорочувався.

На зміну цьому класу сенсорів прийшли більш досконалі. А саме: механічні, радіохвильові, радіоізотопні та напівпровідникові сенсори вологості. Останні в свою чергу поділяються на ємнісні, оптичні та частотні сенсори вологості, сенсори вологості з цифраторами. За останні десятиріччя відбувається інтенсивний розвиток напівпровідникових сенсорів вологості, створення яких стало можливим тільки на певному етапі розвитку науки, а також технології

мікроелектроніки. Використання сучасних технологій мікроелектроніки забезпечує розробку та виготовлення мікроелектронних сенсорів вологості, які наділені високою точністю та чутливістю до вимірювального параметру і нечутливістю до інших зовнішніх факторів, малими габаритними розмірами, масою і енергоспоживанням, інформативною, конструктивною та технологічною сумісністю з мікроелектронними засобами обробки інформації. Розглянемо деякі з них.

Суть методу вимірювання вологості сипких і пористих матеріалів полягає у тому, що при визначенні вологості по величині кута зрушення фаз між напругою і струмом додатково враховується і знак кута зрушення фаз. Робочу частоту вибирають такою, щоб у точці, яка відповідає середньому значенню вологості контрольованого діапазону, кут зрушення фаз між напругою і струмом був рівний нулю. Далі по визначеній залежності кута зрушення фаз від вологості на вибраній частоті визначають діапазон вимірювань, який відповідає ділянці, на якій залежність кута зрушення фаз від вологості є монотонною, а його зміна від густини матеріалу менше допустимого із умов необхідної точності [31].

Метод вимірювання вологості органічних речовин полягає у тому, що ємність вимірювальної комірки, у яку поміщають досліджувану пробу матеріалу, вимірюють імпедансним методом при включенні комірки в коло генератора змінної напруги. Далі по результатах вимірювання визначають значення коректованої індуктивності

$$L = \frac{2(C_1 + C_2)}{\omega C_2 (2C_1 + C_2)}, \qquad (1.13)$$

де ω - частота генератора, 1/с;

C_1 – виміряне значення ємності вимірювальної комірки, яка заповнена досліджуваною речовиною;

C_2 - подовжувальна ємність.

При вимірюванні встановлюють визначену коректовану індуктивність паралельно вимірювальній комірці і вимірюють фазове зрушення φ між струмом і напругою в ланцюгу вимірювальної комірки. Значення вологості W по результатах вимірювання φ визначають по заздалегідь отриманій градуйованій кривій усереднених вимірювань $W = f(\varphi)$. На рисунку 1.5 подана схема пристрою для реалізації даного способу [31].

Спосіб визначення вологості газорідинного потоку полягає у тому, що на досліджувану рідину, яка проходить по трубопроводу, діють електромагнітним випромінюванням НВЧ- і ІЧ-діапазонів, далі вимірюють величини поглинань електромагнітного випромінювання досліджуваним потоком, крім того величини поглинання визначають шляхом вимірювання зміни температури досліджуваного потоку до і після дії електромагнітного випромінювання НВЧ- і ІЧ-діапазонів. Зміна вологовмісту досліджуваного потоку приводить до значної зміни температури під дією НВЧ- випромінювання і незначному в ІЧ-діапазоні. Шуканий вологовміст пропорційний різниці температур, яка отримана потоком після дії випромінювання НВЧ- і ІЧ-діапазонів, незалежно від того як здійснюється ця взаємодія. На рисунку 1.6 подані конструкції пристроїв для здійснення даного способу [31].

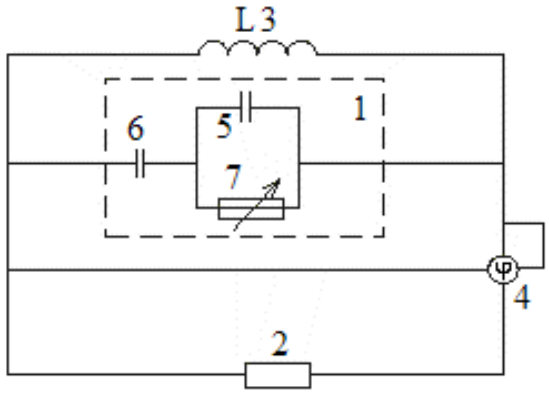


Рисунок 1.5 – Схема пристрою: 1 - вимірювальна ємнісна комірка; 2 - генератор змінної напруги; 3 - коректуюча індуктивність; 4 – фазометр; 5 - власна ємність сенсора (C_1); 6 - подовжувальна ємність (C_2); 7 - активний опір проби досліджуваного матеріалу (R)

Спосіб визначення вологості діелектричного матеріалу полягає у тому, що спочатку кювета, довжина якої перевищує висоту резонатора, повністю заповнюється пробою і встановлюється мінімальна частота розладу резонатора $\Delta\omega_1 = 100$ МГц при резонансній частоті пустого резонатора $\omega = 6300$ МГц, тобто резонатор збуджують НВЧ-сигналом.

Далі у резонаторі в кюветі вводиться матеріал і одночасно реєструється вихідна напруга резонатора. Максимальне значення вихідної напруги U_1, відповідає резонансу. З метою скорочення часу вимірювань і покращення зручності експлуації, частоту НВЧ-сигналу вибирають рівній мінімальному значенню розладу резонатора для заданого діапазону виміряних значень вологості. Значення вологості визначають по градуйованій залежності, яка зв'язує значення напруги на виході резонатора із значеннями вологості для заданих частот розладу.

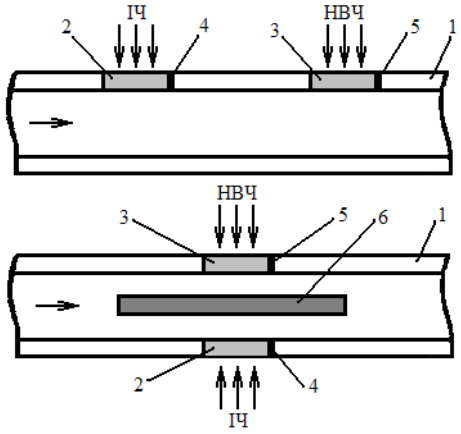


Рисунок 1.6 – Конструкції пристроїв для здійснення способу визначення вологовмісту газорідинного потоку: 1 – трубопровід; 2, 3 - вікна з матеріалу, прозорого для НВЧ і ІЧ-випромінювання; 4, 5 - сенсори температури, 6 - перегородка, для розділу потоку на дві частини

Спосіб вимірювання вологості рідких середовищ полягає у спільному вимірюванні діелектричної проникності середовища і температури, а з метою підвищення точності додатково вимірюють затухання ультразвуку в досліджуваному середовищі. Значення вологості визначають як

$$W = a_0 + a_1\varepsilon + a_2\alpha + a_3T, \qquad (1.14)$$

де a_0, a_1, a_2, a_3 - постійні коефіцієнти, які визначаються при градуюванні;

ε - виміряне значення діелектричної проникності;

α - виміряне значення затухання ультразвуку;

T- виміряне значення температури [31].

Розглянемо вимірювальний прилад для здійснення способу визначення вологості газів. Даний вимірювальний прилад містить робочий і компенсаційний чутливі елементи, які поміщають у досліджуване середовище. Чутливий елемент приладу виконаний із платинового дроту діаметром 20 мкм, а на спіраль чутливого елементу наносять покриття із окислу алюмінію. Поверхня робочого чутливого елементу додатково покривається гігроскопічною речовиною, а компенсаційного - гідрофобною речовиною. Вимірювання полягає у насиченні гігроскопічного плівкового покриття чутливого елементу вимірювального приладу вологою. Після цього здійснюють періодичне нагрівання покриття до температури більше 100°С, яке супроводжується повним випаровуванням сорбованої покриттям вологи. Процес зволоження гігроскопічного плівкового покриття переривають до моменту насичення його вологою, а вологість визначається по кількості теплоти, яка необхідна для повного випаровування вологи з гігроскопічного плівкового покриття.

Даний спосіб вимірювання вологості проводять за допомогою трьохелектродного накладного сенсора, який включений послідовно з еталонним опором. Вимірювання полягає у подачі на перший і другий електроди сенсора напруги однакової частоти і фази, а також регулюванні амплітуди напруги на другому електроді. На рисунку 1.7 зображено просторовий розподіл електричних полів в трьохелектродному сенсорі і досліджуваному матеріалі, а також блок-схема пристрою для здійснення даного способу [31].

У даному способі з метою підвищення точності, регулювання амплітуди напруги проводять між другим і третім електродами до досягнення максимуму амплітуди напруги між першим і другим електродами. Крім того вимірювання напруги між першим і третім електродами проводять на двох частотах, а значення вологості визначають виразом [31]

$$P = A\sqrt{\frac{1}{U_1^2} - \frac{1}{U_2^2}}, \qquad (1.15)$$

де A - коефіцієнт пропорційності;

U_1 - напруга між першим і третім електродами на першій частоті;

U_2 - напруга між першим і третім електродами на другій частоті.

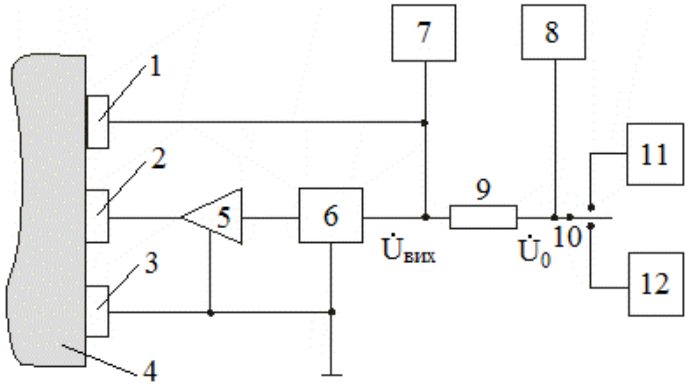


Рисунок 1.7 – Просторовий розподіл електричних полів в трьохелектродному сенсорі і досліджуваному матеріалі; блок-схема пристрою:

1 - 3 - три електроди;

4 - досліджуваний об'єкт;

5 - підсилювач зі змінним коефіцієнтом підсилення від 1 до 1,5;

6 - повторювач напруги;

7, 8 -два вимірювача змінної напруги;

9 - еталонний опір R_e;

10 - ключ;

11, 12 -генератори змінної напруги з однаковими амплітудами і частотами вихідного сигналу ω_1 і ω_2

Спосіб визначення вологості твердих речовин передбачає визначення маси досліджуваного зразка. Крім того, сушіння зразка проводять при обертальному русі при постійній температурі сушильного агента і часу сушіння, а масу зразка визначають після сушіння, вологість же - по відомій залежності. Новим у даному способі є те, що постійно визначають протягом процесу сушіння маси, температури зразка і вологості сушильного агента, а процес сушіння завершують у тому випадку, коли різниця двох сусідніх значень по масі складає не більше

десяти міліграм, температура - не більше однієї десятої градуса по Цельсію, а градієнт вологості сушильного агента дорівнює нулю. Крім того, додатково визначають концентрацію відмінних від води летких речовин і при визначенні вологості отримане значення маси сухої речовини збільшують на цю величину. Вологість визначають за відомою залежністю [31]

$$W = \frac{m_н - m_c}{m_c} 100\%, \qquad (1.16)$$

де W – вологість зразка;

$m_н$ - маса зразка до сушіння;

m_c - маса зразка після сушіння.

На рисунку 1.8 поданий двочастотний метод вимірювання вологості [24]. Цей метод передбачає визначення параметрів досліджуваного матеріалу на двох частотах f_1 і f_2. Досліджуваний матеріал розміщують в ємнісний перетворювач, який в свою чергу під'єднують до первинного перетворювача (*ПП*), що дозволяє неелектричний параметр — вологість перетворити в електричний сигнал (напругу або струм). Отримані значення електричних величин дозволяють визначити вологість досліджуваного матеріалу за виразом

$$W = a + b \cdot \left(\frac{U_1}{U_{вх1}} - \frac{U_2}{U_{вх2}} \right), \qquad (1.17)$$

де a і b - коефіцієнти, що визначаються шляхом багатофакторного експерименту і для різних матеріалів різні;

$U_{вх1}$ і $U_{вх2}$ - значення напруги на вході *ПП* на частотах f_1 і f_2 відповідно;

U_1 і U_2 - значення напруги на виході *ПП* на частотах f_1 і f_2 відповідно.

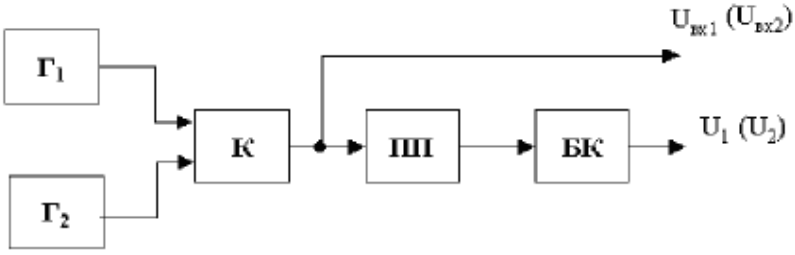


Рисунок 1.8 – Структурна схема вимірювального перетворювача вологості

Гармонічні сигнали f_1 і f_2 однакової амплітуди від генераторів $Г_1$ і $Г_2$ за допомогою комутатора *К* почергово подаються на первинний перетворювач *ПП*. З виходу *ПП* через буферний каскад (*БК*) знімається вихідна напруга U_1 або U_2 (в залежності від того, який із генераторів живить первинний перетворювач)[24].

НВЧ прилади для вимірювання вологості є досить розповсюдженими на даний час [28, 30, 42-44]. На рисунку 1.9 наведено схему одного з таких пристроїв для вимірювання вологості [41].

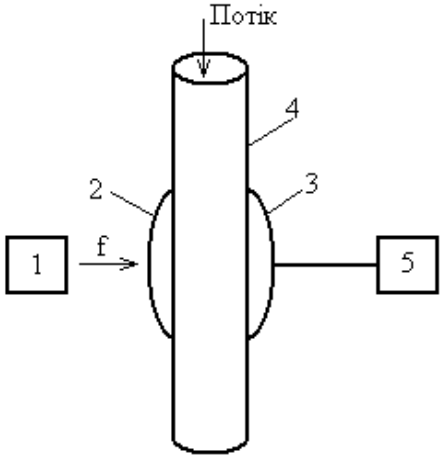


Рисунок 1.9 – Пристрій для вимірювання вологості

Пристрій складається з трубопроводу *4*, передавальної та приймальної антени *2* і *3*, які встановлені діаметрально на зовнішній поверхні трубопроводу *4*, частотомір *5* з'єднаний з приймальною антеною *3*, причому передавальна та приймальна антени *2* і *3* виконані параболічними, а надвисокочастотний генератор віркаторного типу *1* розташований напроти передавальної антени *2* [41].

Мікрохвильовий сигнал електромагнітних коливань надвисокочастотного генератора віркаторного типу *1* потрапляє на перадавальну параболічну антену *2* з допомогою якої потрапляє в потік контрольованої рідини, що протікає по трубопроводу *4*. Далі після взаємодії з контролюємим середовищем сигнал проходить через нього і уловлюється приймальною параболічною антеною *3*. Сигнал з приймальної параболічної антени *3* потрапляє на частотомір *5*, за допомогою якого оцінюють величину частоти електромагнітних коливань, яка

пройшла через потік контрольованої рідини. По значенням даної частоти визначають рівень відносної вологості в контрольованій рідини[41].

Серед непрямих методів вимірювання вологості одними з найбільш розповсюджених є електричний, оптичний, та НВЧ методи. На рисунку 1.10 зображена схема діелькометричного вологоміра[44], який входить в склад електричних методів.

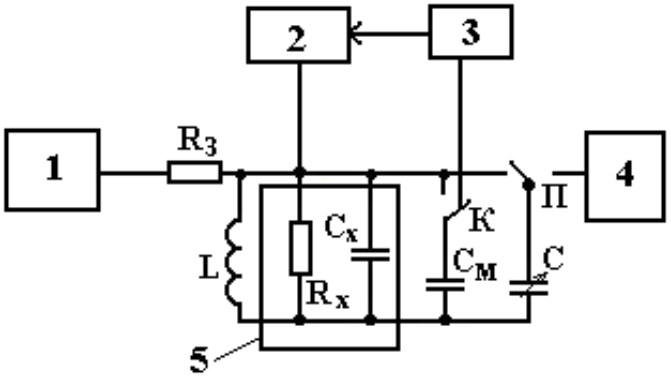


Рисунок 1.10 – Схема діелькометричного вологоміра

Робота пристрою полягає в тому, що [44] напруга високої частоти з генератора *1* через резистор зв'язку R_3 надходить на пасивний коливальний контур, який складається з котушки індуктивності *L*, елементів схеми зміщення C_x і R_x та модульованого конденсатора C_M. Вимірювальний контур налагоджується в резонанс з частотою генератора *1* конденсатором *C*, який підключений до вимірювального контура перимикачем *П*. Модулятор *3* керує перимикачем *К*. При порожній кюветі *5* після налагодження в резонанс конденсатором *C*, який виконується за індикатором резонансу *2*, ємність допоміжного конденсатора дорівнює *C'*. Перимикачем *П* допоміжний контур перемикається в контур відлікового генератора *4* і визначається частота f_1. Після заповнення кювети аналізуючою речовиною ємність допоміжного конденсатора стане рівною *C''*, а частота на відліковому генераторі *4* – f_2. Зміна ємності допоміжного конденсатора $\Delta C = C' - C''$ дорівнюватиме приросту ємності кювети. Рівняння, яке показує зміну ємності кювети та частоти відлікового генератора має вигляд:

$$\Delta C = K\left[\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 - 1\right], \qquad (1.18)$$

де Δ - коефіцієнт пропорційності.

Оптичні методи визначення вологості грунтовно описані в роботі[45], де чітко подана і класифікація методів вимірювання вологості. Розглянемо двохвилевий вологомір зображений на рисунку 1.11, який складається з первинного вимірювального тракту та вторинного засобу вимірювання[45].

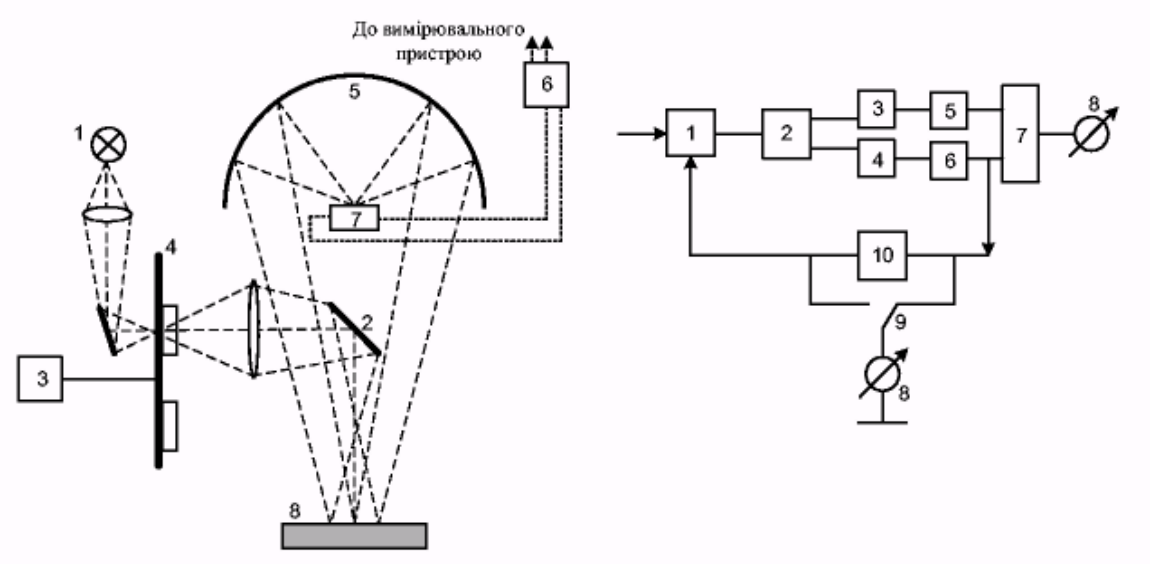


Рисунок 1.11 – Схема вологоміра з первинним вимірювальним трактом та вторинним засобом вимірювання

На модуляторі *4*, який приводиться в рух синхронним двигуном *3*, встановлено два світлофільтри. Довжини хвиль опорного та вимірювального каналів складають 1,9 мкм (вимірювальна) та 1,7 мкм (опорна). При обертанні модулятора світловий промінь від джерела випромінювання *7* (лампи розжарення), з частотою 100 Гц переривається і на дзеркало *2* почергово попадають потоки випромінювання, які пройшли через перший та другий світлофільтри, відповідно на опорній та вимірювальній довжині хвилі. Поворотне дзеркало направляє потоки, що чергуються в часі, на контрольований об'єкт *8*. Відбиті від обох потоків частки випромінювання збираються ввігнутим

дзеркалом *5* і фокусуються на світлочутливу поверхню фотоприймача *7*. Сигнал з виходу фотоприймача подається на попередній підсилювач *6*. Наявність попереднього підсилювача у первинному вимірювальному тракті дозволяє отримати сигнал, достатній для передачі по кабелю на відстань до 100 м [45].

Вторинний тракт вимірювання складається з підсилювача *7*, електронного перемикача *2* для розподілу сигналів від опорного і вимірювального потоків, підсилювачів з регульованим коефіцієнтом підсилення *3* і *4*, випрямлювачів *5, 6,* кінцевого підсилювача *7*, реєструвальних приладів *8*, перемикача виду робіт *9* і блока автоматичного регулювання *10*. Сигнал від потоків опорного і вимірювального каналів з виходу первинного вимірювального тракту надходить на вхід вимірювального пристрою. Сигнал вимірювального каналу менший. Сигнал підсилювачем *7* доводиться до значення, зручного для обробки, і електронним перемикачем *2* розділяється в часі на опорний та вимірювальний сигнали, які після детекторування подаються на диференціальний підсилювач *7*. Далі сигнал подається на реєструвальний прилад *8*. Перемикач роду робіт 9 дозволяє вести контроль за роботою пристрою. Вихідний струм вимірювального пристрою знаходиться в межах від 0 до 20 мА, вихідна напруга - від 0 до 1 В для навантаження більшого 50 кОм.

Перевагами описаного вологоміра є проста структура та принципи роботи. До недоліків можна віднести низьку точність через залежність опорного потоку випромінювання від вологості, низьку чутливість приладу, зумовлену використанням ввігнутих дзеркал, а отже, втратою частини відбитого випромінювання [45].

На рисунку 1.12 зображено пристрій для контролю відносної вологості, що може бути використаний для безупинного контролю відносної вологості.

Контролюючи заданий рівень відносної вологості навколишнього середовища W_1 на виході перетворювача вологості спостерігається частотний сигнал з частотою f_1 , що надходить на вхід ФВЧ 16, який налаштований на частоту зрізу f_1 .

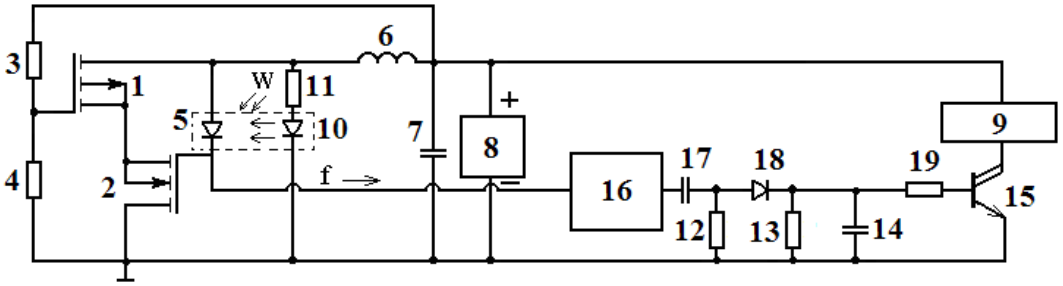


Рисунок 1.12 – Пристрій для контролю відносної вологості

При збільшенні рівня відносної вологості навколишнього середовища до значення W_2 відповідно збільшується і частота, яка поступає на вхід ФВЧ *16* f_2, тобто фільтр починає пропускати частоту $f_2 > f_1$. На виході ФВЧ 16 спостерігаємо частотний сигнал, який за допомогою резисторів *12* і *13*, конденсаторів *14* і *17* та діода *18* перетворюються в певний постійний рівень напруги, який через резистор *19* потрапляє на базу транзистора Дарлінгтона *15*, до колектора якого підключений нагрівальний елемент *9*. Отже, при збільшені відносної вологості навколишнього середовища збільшується частота, яка пропускається ФВЧ *16* і перетворюється у постійний рівень напруги, яка в свою чергу живить нагрівальний елемент *9*, що скомпенсовує дію відносної вологості до заданого контролюємого рівня в газовому середовищі технологічних камер розміром до 2 м^3[40].

Останнім часом намітилась стійка тенденція щодо зменшення вартості мікроелектронних пристроїв обробки інформації, зокрема, на основі мікропроцесорних систем, внаслідок чого первинні вимірювальні перетворювачі поступово набувають визначальної ролі з точки зору вартості інформаційно-вимірювальної системи. Таким чином, широке застосування напівпровідникових матеріалів, групової інтегральної технології та розробка на їх основі первинних вимірювальних перетворювачів, сумісних з мікропроцесорними пристроями, є основним напрямком розвитку сучасної сенсорної техніки.

Отже, проблема створення системи уніфікованих твердотільних сенсорів з високими метрологічними характеристиками та вихідним сигналом, який можна перетворювати у форму коду з незначними похибками, залишається актуальною.

Використання реактивних властивостей напівпровідникових приладів для побудови частотних первинних перетворювачів фізичних величин можна вважати одним із шляхів розв'язання цієї проблеми [8, 9].

Новим напрямком в розробці і створенні мікроелектронних перетворювачів вологості є дослідження в галузі частотних перетворювачів вологості на основі транзисторних структур з від’ємним опором. Принцип роботи частотних перетворювачів вологості оснований на вимірюванні послаблення та фазового зрушення частотних коливань обумовлених наявністю води в досліджуваному матеріалі [8, 9, 31].

Для створення вище перерахованих сенсорів використовують розноманітні технології виготовленя та розробляють відповідні технологічні маршрути.

1.3 Частотні перетворювачі інформації на основі транзисторних структур з від’ємним пором

Перспективним напрямком в розробці і створенні мікроелектронних перетворювачів є дослідження в галузі частотних перетворювачів на основі транзисторних структур з від’ємним опором. Дослідження цього напрямку показали, що реактивні властивості і від’ємний опір нерозривно пов’язані між собою, а багатофункціональність і простота радіоелектронних пристроїв на основі структур з від’ємним опором є перспективою їх практичного використання.

Частотні сенсори поєднують як простоту, так і універсальність, які властиві аналоговим пристроям, а також точність і завадостійкість характерні для сенсорів з кодовим виходом. Перетворення частотно-модульного сигналу зводиться в основному до підрахунку періодів сигналу протягом певного часу.

Використовування частотних сенсорів забезпечить можливість досягнення значно більших точностей вимірювання, ніж при використовуванні амплітудних сенсорів, а також цифрових перетворювачів [9].

А використання принципу перетворення досліджуваної фізичної величини в частоту на основі напівпровідникових структур з від’ємним опором виключає використовування аналогово-цифрових перетворювачів при обробці сигналів, що знижує собівартість систем контролю і управління.

Транзисторні структури, які мають від’ємний диференціальний опір можна використовувати в якості частотних первиних перетворювачів температури, газу, тиску, вологи, магнітного поля та оптичного сигнала, при цьому можна підвищувати їх чутливість і точність вимірювання. Конструктивно всі вище перераховані частотні перетворювачі виконуються у вигляді транзисторних структур, які складаються із біполярних та польових транзисторів, причому в електричну схему цих структур можливо включити різні сенсори, які будуть реагувати на температуру, тиск, вологу, магнітне поле або оптичний сигнал.

Розглянемо детальніше роботу частотних перетворювачів на транзисторних структурах з від’ємним опором.

На рисунку 1.13 [9] зображена схема частотного перетворювача температури, який конструктивно виконується у вигляді структури, яка складається із двох біполярних транзисторів *VT1* та *VT2*, причому в електричну схему цієї структури можливо включити термочутливий напівпровідник або металевий опір, що розширює діапазон вимірюваних температур. Живлення схеми здійснюють джерела постійної напруги U_1 і U_2. Від’ємний опір існує на електродах колектор-колектор транзисторів *VT1* та *VT2* [9].

Вплив температури на сенсори температури виявляється в зміні їх опору або провідності, а точніше в закономірностях проходження через них електричного струму під час дії температури.

Оптичні частотні перетворювачі конструктивно виконуються у вигляді інтегральної гібридної схеми, яка складається із арсенід-галієвого польового транзистора з бар'єром Шоткі і біполярного транзистора.

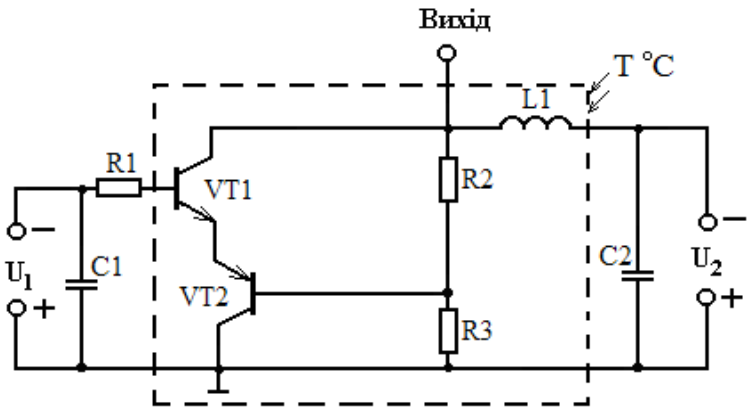


Рисунок 1.13 – Електрична схема частотного перетворювача температури на основі біполярних транзисторів

Ця структура є базовою для побудови перетворювача тому, що вона забезпечує режим роботи в діапазоні надвисоких частот, що дуже важливо для надвисокочастотної оптоелектроніки. Електрична схема пристрою подана на рисунку 1.14. На електродах колектор-затвор запропонованої структури існує від'ємний опір, що відповідає спадаючій ділянці на вольт-амперній характеристиці [9].

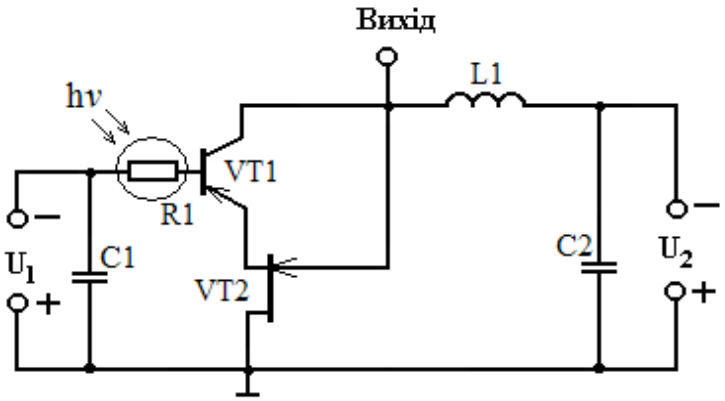


Рисунок 1.14 – Електрична схема оптичного частотного перетворювача, фоточутливим елементом якої є фоторезистор

Фоточутливий перетворювач живиться від джерел постійної напруги U_1 і U_2. Ланцюг R_1C_1 створює додатковий зворотний додатний зв'язок виходу із входом. Через опір R_1, який є фоточутливим елементом, здійснюється живлення

бази біполярного транзистора і ланцюга витік-стік польового транзистора. Ємність C_2 здійснює блокувальну роль, тобто захищає джерело постійного струму U_1 від струмів надвисоких частот.

Коливальний контур утворений пасивною індуктивністю L_1 і ємністю, яка існує на електродах колектор біполярного і стік польового транзисторів.

В якості фоточутливих елементів можуть виступати фоторезистор, фоточутливий діод, польовий і біполярний транзистори. Розглянемо схему частотного перетворювача тиску подану на рисунку 1.15 [9].

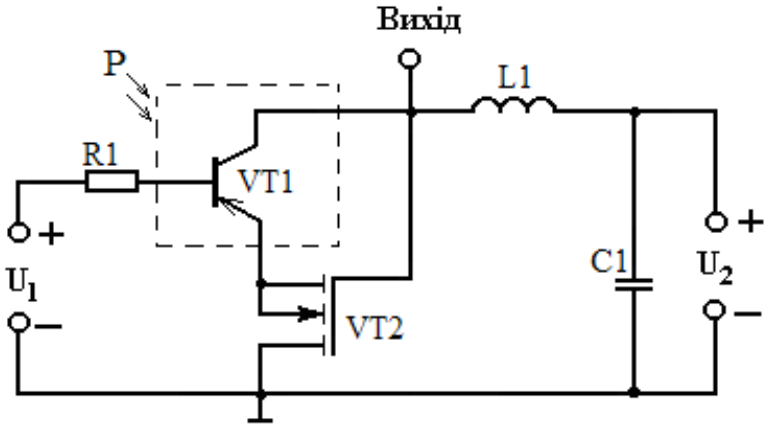


Рисунок 1.15 – Електрична схема частотного перетворювача тиску

Вона складається із біполярного і польового транзисторів *VT1* та *VT2*, в якості тензочутливого елемента використовується біполярний транзистор *VT1*. Під дією тиску у біполярному транзисторі змінюється такі параметри, як дифузійна ємність і її опір, бар'єрна ємність і її опір, коефіцієнт передачі струму та опір бази. Зміна цих параметрів під дією тиску приводить до зміни реактивної складової повного опору, що існує на колекторі біполярного *VT1* і стоці польового *VT2* транзисторів [9].

Схема частотного магнітного перетворювача з магніточутливим елементом на основі польового транзистора з ізольованим затвором подана на рисунку 1.16. Вона складається з двох комплементарних польових транзисторів *VT1* та *VT2*, один із яких є магніточутливим елементом. Під час дії поперечного магнітного поля на канал транзистора *VT2* з вектором магнітної індукції *+B*

електрони на шляху до стоку будуть відхилятися до підзатворного діелектрика, а при дії вектора магнітної індукції *-B* – вглиб об’єму напівпровідникової підкладки.

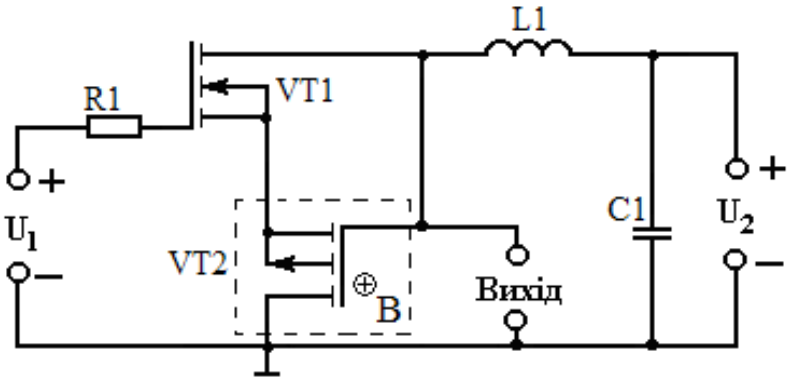


Рисунок 1.16 – Електрична схема частотного магнітногоперетворювача на основі двох МДН-транзисторів

На рисунку 1.17 [10] подана схема вологочутливого частотного перетворювача, яка складається з комплементарної МДН-транзисторної структури, живлення якої здійснюють джерела постійної напруги U_1 і U_2, при цьому вологочутливий конденсатор підключений до другого затвору транзистора *VT2*.

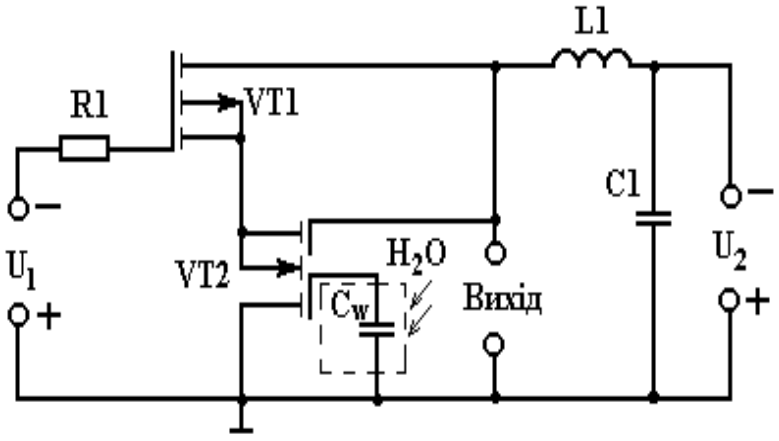


Рисунок 1.17 – Схема частотного перетворювача вологості на основі двох МДН-транзисторів

Принцип роботи частотного перетворювача вологості базується на зміні ємності вологочутливого МДН-конденсатора на основі аморфного двоокису

кремнію, в результаті фізичної та хімічної адсорбції пари води навколишнього середовища.

Для вивчення властивостей частотних перетворювачів необхідною є розробка математичних моделей, на базі яких можна отримати залежність вольт-амперної характеристики транзисторного перетворювача, тому що вибір робочої точки на цій характеристиці обумовлюватиме самозбудження і стійкість роботи автогенератора перетворювача.

1.4 Висновки до розділу 1

1. Аналіз сучасного стану засобів для вимірювання вологості повітря дозволив уточнити їх класифікацію, сформулювати мету і задачі досліджень, а також оцінити їх теоретичний рівень.

2. Аналіз існуючих перетворювачів вологості показав, що створення та використання частотних перетворювачів вологості на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від’ємним опором, що реалізують принцип перетворення “вологість - частота” є перспективним науковим напрямком у розвитку автоматизованих систем керування, діагностики та контролю різноманітних технологічних процесів. Використання реактивних властивостей напівпровідникових приладів компенсує втрати в коливальному контурі, що значно підвищує чутливість мікроелектронних частотних перетворювачів вологості до вимірювального параметру – вологості навколишнього середовища.

3. Використання перетворювачів вологості з вихідним частотним сигналом обумовлене їх високою завадостійкістю, простотою і точністю перетворення частотного сигналу в цифровий код. Крім того використання частотного інформативного сигналу мікроелектронного сенсора виключає необхідність застосування аналого-цифрових перетворювачів в таких системах, що знижує їх собівартість.

2 ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СЕНСОРА ВІДНОСНОЇ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ

2.1 Сенсори вологості повітря

Сенсори вологості на основі ємнісного ефекту або просто ємнісні сенсори вологості є одним з основних типів датчиків вологості.

Вони часто використовуються в додатках, де такі фактори, як вартість, жорсткість і розмір, викликають занепокоєння. У сенсорах відносної вологості електрична проникність діелектричного матеріалу змінюється зі зміною вологості повітря.

Простий ємнісний вологочутливий сенсор може бути виготовлений з конденсатора, заповненого повітрям, оскільки вологість в атмосфері змінює діелектричну проникність. Але для практичних застосувань повітря як діелектрик неможливий. тому, простір між пластинами конденсатора зазвичай заповнюється відповідним діелектричним матеріалом (ізолятором), діелектрична проникність якого змінюється, коли ізолятор піддається зміні вологості.

Загальним методом побудови ємнісного сенсора для відносної вологості повітря є використання гігроскопічної полімерної плівки в якості діелектрика і нанесення двох шарів електродів на будь-яку сторону.

Іншим способом використання ємнісних сенсорів відносної вологості є спостереження за зміною частоти осцилятора, побудованого з використанням вологочутливого конденсатора. Ця установка часто використовується у фармацевтичних продуктах.

Тестові зразки, такі як медичні таблетки, розміщують між двома пластинами (які утворюють електроди конденсаторів) для утворення конденсатора в ланцюзі LC осцилятора (рис. 2.1). Частота генератора змінюється з вологістю тестового зразка.

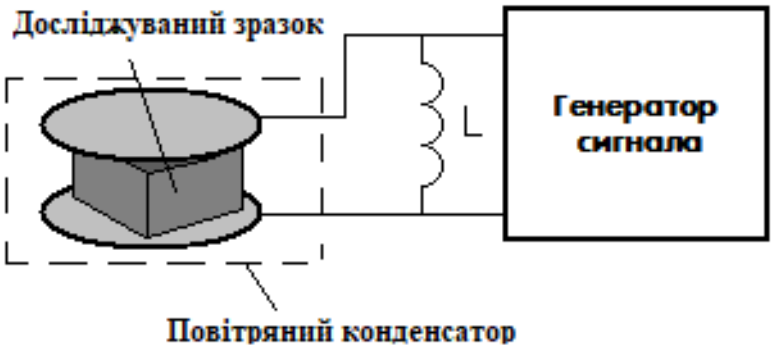


Рисунок 2.1 – Ємнісний сенсор вологості

Розглянемо ємнісний вологочутливий сенсор, що зображений на рисунку 2.2. Він виготовлений на кремнієвій підкладці. На цій підкладці нанесено два металевих електрода, виготовлені з алюмінію, платини або хрому. Форма цих електродів вирізана таким чином, що електроди утворюють пилкоподібний рисунок.

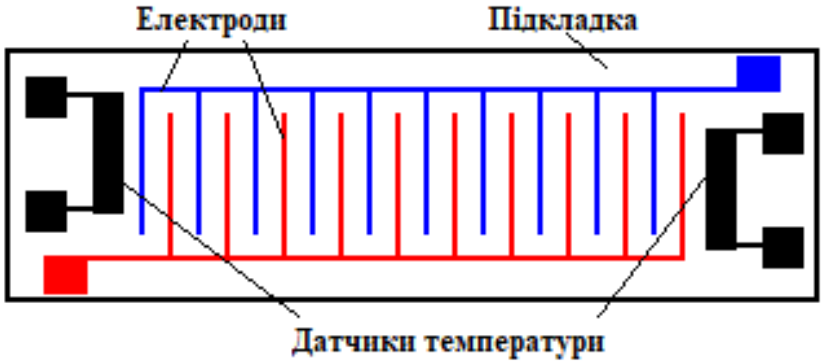


Рисунок 2.2 – Ємнісний вологочутливий тонкоплівковий сенсор

Поверх цього шару наноситься діелектричний шар. Наступне зображення показує вид зверху і поперечний переріз ємнісного сенсора вологості. Зауважимо, що на одній підкладці нанесені два термочутливих резистора для забезпечення температурної компенсації.

Окрім ємнісних сенсорів вологості також застосовують резистивні сенсори вологості (рис. 2.3).

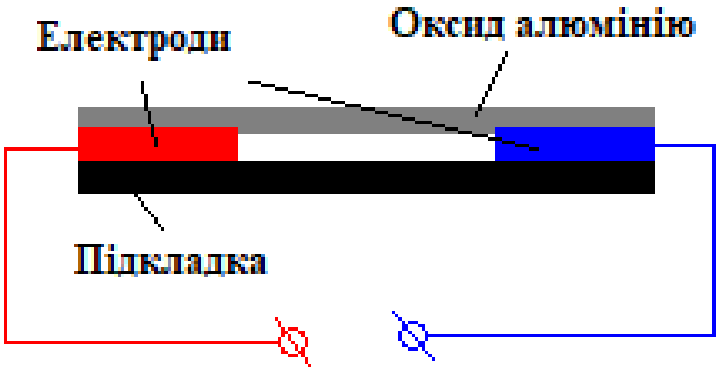


Рисунок 2.3 – Резистивний вологочутливий сенсор

Резистивні сенсори вологості є ще одним важливим типом датчиків вологості, які вимірюють опір (імпеданс) або електропровідність. Принцип резистивних сенсорів вологості полягає в тому, що провідність в неметалічних провідниках залежить від їх вологості.

Резистивний сенсор вологості зазвичай складається з матеріалів з відносно низьким питомим опором, і цей опір значно змінюється при зміні вологості. Співвідношення між опором і вологістю обернено експоненціально. Матеріал з низьким питомим опором наноситься поверх двох електродів. Електроди поміщають в пилкоподібний рисунок для збільшення площі контакту. Питомий опір між електродами змінюється, коли верхній шар поглинає воду, і це зміна може бути виміряна за допомогою простого електричного кола.

Деякими з найбільш часто використовуваних матеріалів є сіль, спеціально оброблені субстрати, тверді поліелектроліти і електропровідні полімери. Сучасні резистивні сенсори вологості покриті керамічною плівкою для забезпечення додаткового захисту. Електроди в сенсорі зазвичай виготовляються з благородних металів, таких як золото, срібло або платина.

Сенсор вологості серії HCH-1000 є ємнісним полімерним датчиком (рис. 2.4), призначеним для вимірювання відносної вологості повітря. Сенсор перетворює значення вологості в ємність, яку можна виміряти електронним шляхом.

Поліімід використовується як матеріал для зондування вологості через його сумісність з обробкою IC (інтегральної схеми), зниженою температурною залежністю і підвищеною стійкістю до забруднення. Серія HCH-1000 виготовлена з використанням напівпровідникової технології.

Сенсор складається з електрода верхньої сітки, поліімідного шару і нижнього електрода. Електрод сітки зверху на нижньому електроді забезпечує підвищену чутливість порівняно з такою стандартної конструкції.

Рисунок 2.4 - Зовнішній вигляд сенсорів HCH-1000 Series

Зовнішній вигляд сенсора HCH-1000 наведено на рисунку 2.4, а розміри сенсора наведені на рисунку 2.5. З наведених розмірів видно, що під час виготовлення та збору друкованої плати необхідно скористатись гібридною технологією.

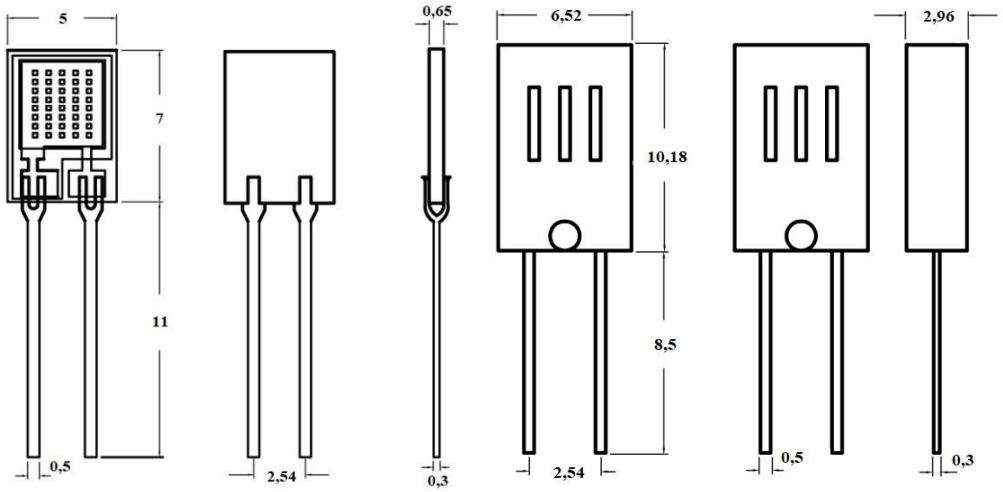


Рисунок 2.5 – Розміри сенсорів HCH-1000 Series

На рисунку 2.6 наведено графіки функції перетворення сенсора HCH-1000 при різних значеннях температури навколишнього середовища.

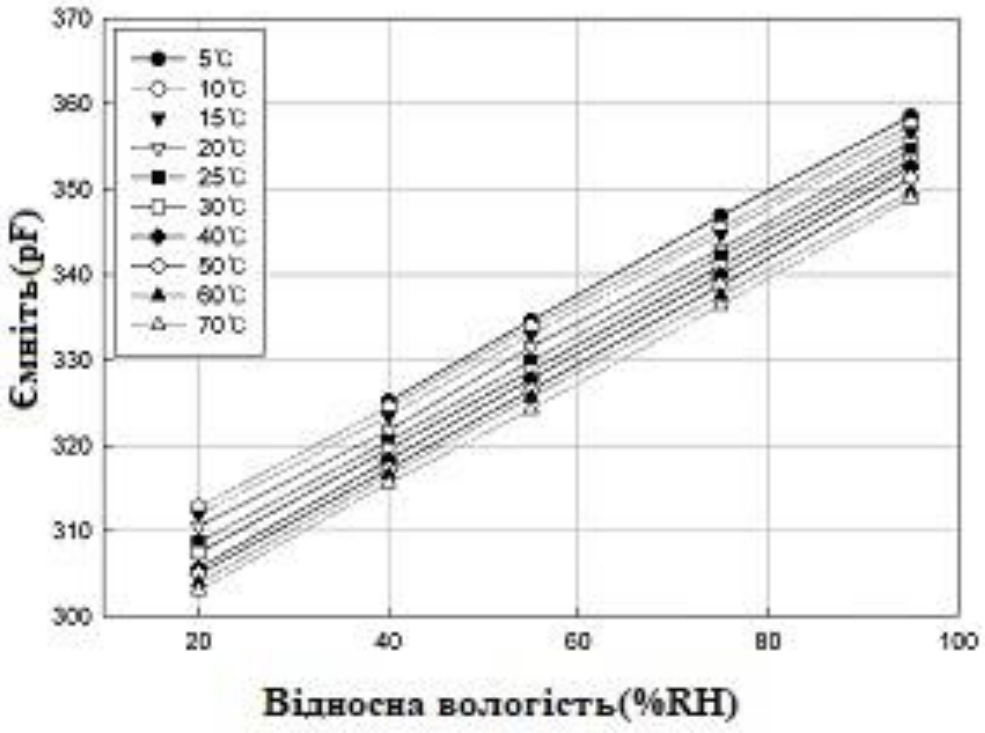


Рисунок 2.6 - Графіки функції перетворення сенсора HCH-1000

З рисунку 2.6 видно, що при зміні відносної вологості повітря від 20 % до 95 % діапазон зміни ємності складає близько 50 пФ.

2.2 Математична модель ємнісного сенсора вологості

На даний час вимірювальна техніка постійно удосконалюється це насамперед пояснюється ускладненням проблем та задач, що вирішуються в різноманітних сферах наукових досліджень. Сучасні напрямки технології мікроелектроніки дають змогу випускати широкий клас первинних перетворювачів для виміру параметрів навколишнього середовища, значну групу яких складають перетворювачі вологості. Оскільки рівень вологості істотно впливає на хід технологічних процесів в технології мікроелектроніки та в різноманітних галузях індустрії, тому створення даного класу перетворювачів вологості є актуальною технічною задачею. Широке використання

перетворювачів вологості ємнісного типу на основі гігроскопічних солей пояснюється їх простотою у використанні та низькою собівартістю [27, 46, 47].

З метою вимірювання відносної вологості газового середовища та збільшення активної поверхні сенсора за об'єкт дослідження обрано вологочутливий елемент, схема якого подана на рисунку 2.7.

Однак, на сьогодні не існує матиматичної моделі даного ємнісного сенсора, яка б описувала зміну електрофізичних параметрів вологочутливої плівки від кількості адсорбованої пари води. Тому задача полягала в розробці математичної моделі, яка б описувала поведінку ємнісного вологочутливого елементу від зміни відносної вологості *W* навколишнього середовища.

Ємнісний сенсор вологості, який зображено на рисунку 2.7 та наведений в додатку В (08-36.МКР.001.00.000 ЗВ), являє собою систему V-подібних та трапецієподібних електродів, яка закріплена між двома діелектричними кільцями, причому пластини трапецієподібної форми з'єднані парами таким чином, щоб у місці прилягання пластин кожної пари зазор між пластинами був відсутній. Використання пластин трапецієподібної форми дозволяє створити жорстку конструкцію системи електродів з великою площею перерізу, що в свою чергу підвищує чутливість пристрою[16].

Ємнісний сенсор вологості складається з системи електродів *1, 2, 3, 4*. Система електродів жорстко закріплена між двома діелектричними кільцями *5,6*. Довжина системи електродів ємнісного сенсора складає 800мм. Діаметр зовнішнього кільця складає 100мм, а внутрішнього – 85мм. Простір між кільцями заповнений компаундом. Електроди вкриті вологочутливою плівкою, яка має двошарову структуру, нижнім шаром, якої є гігроскопічна сіль, а верхнім - полімер. Для створення вологочутливої плівки використовувався розбавлений розчин солі $BaCl_2$, яка наносились на поверхню конденсатора пульверизатором на відстані 20–30см в три покриття. На отримане вологочутливе покриття наносився захисний шар поліметилметакрилату [48].

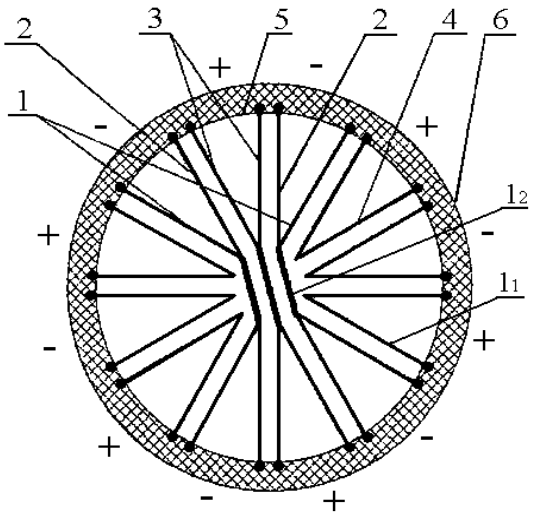


Рисунок 2.7 – Переріз ємнісного сенсора вологості [16]

Пристрій працює наступним чином. Під час руху газового потоку через ємнісний вимірювальний перетворювач газ заповнює простір між електродами позитивної та негативної полярності. Це викликає зміну діелектричної проникності, що призводить до зміни ємності сенсора вологості.

Якщо матеріал складається із суміші компонентів з різним ε, то загальну поляризацію матеріалу можна знайти як суму поляризацій компонентів [49]. У нашому випадку вологочутливий шар відноситься до структурованих сумішей. Першим шаром якого є суміш проміжного типу, тобто зволожена сіль лужно-земельного металу, властивості якої задовільно описуються емпіричним рівнянням

$$lg\,\varepsilon_{СПТ} = V_1^a\ lg\,\varepsilon_1 + \left(1 - V_1^a\right) lg\,\varepsilon_2, \qquad (2.1)$$

де $a = 0{,}5 \div 1$;

V_1 – об’ємна доля сухого компоненту (солі);

ε_1 – діелектрична проникність сухого компоненту;

$(1 - V_1^a)$ – об’ємна доля води;

ε_2 – діелектрична проникність води.

Завдяки зміні коефіцієнта *a* дане рівняння охоплює усі типи неупорядкованих сумішей.

Знайдемо об’ємні долі компонентів, тобто $V_{доля\ солі}$, а також $V_{доля\ H_2O}$, для цього визначимо загальний об’єм, який займають ці речовини, тобто

$$V_{H_2O} + V_{солі} = V_{заг}, \tag{2.2}$$

$$V_{долясолі} = \frac{V_{солі}}{V_{заг}}, \tag{2.3}$$

$$V_{доляH_2O} = \left(1 - V^{a}_{долясолі}\right), \tag{2.4}$$

$$V_{солі} = S \cdot \sigma_{солі}, \tag{2.5}$$

$$S = (12l_1 + 2l_2) \cdot h, \tag{2.6}$$

де S – площа активної поверхні ємнісного сенсора, мм^2;

$\sigma_{солі}$ – товщина сольового покриття, мкм;

h, l_1, l_2 – величини, які враховують геометрію електродів, мм.

Визначимо об’єм води V_{H_2O}

$$V_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{\rho_{H_2O}}, \tag{2.7}$$

де m_{H_2O} – маса води, г;

ρ_{H_2O} – густина води, г·см$^{-3}$.

$$m_{H_2O} = \chi G, \tag{2.8}$$

$$\chi = \delta \frac{p_v}{P - p_v}, \tag{2.9}$$

$$G = \frac{273{,}2 \cdot PM_{П}V}{101{,}325 \cdot 22{,}4 \cdot (273{,}2 + T)} = \frac{0{,}1204 \cdot PM_{П}V}{273{,}2 + T}, \tag{2.10}$$

де χ - величина, яка враховує зв’язок між масовим відношенням вологи і тиском пари [26];

G – маса сухого повітря, г;

$\delta = \frac{M_{H_2O}}{M_{П}}$ - відносна маса водяної пари по відношенню до сухого повітря при однакових тисках і температурах;

$M_{H_2O} = 18{,}015$, $M_П = 29$ - молярні маси водяної пари та сухого повітря, г/моль;

p_v - парціальний тиск пари при температурі T, Па,;

P - тиск повітря 101,325 кПа (760 мм рт.ст.).

Температура вологого термометра і тиск пари пов'язані таким виразом

$$p_v = p_s - AP(T - T_w), \tag{2.11}$$

$$A = \frac{c_{pП}}{\delta \cdot L_{T_w}} \cdot \frac{P - p_s}{P}, \tag{2.12}$$

де p_S - тиск насиченої пари при температурі T, Па;

A - психрометрична стала, яка при T_w=20^{0}C становить 0,00064;

T - температура навколишнього середовища, ^{0}C;

T_w - температура вологого термометра, ^{0}C;

$c_{pП}$ - питома теплоємність сухого повітря (1,006 кДж/кг при T=20 ^{0}C);

L_{T_w} - прихована теплота пароутворення при температурі вологого термометра T_w, кДж/кг;

V - об'єм, який займає дана маса газу, дм^3.

Вираз (2.11) підставимо в (2.9) і отримаємо співвідношення [26]

$$\chi = \delta \cdot \left(\frac{p_s - AP(T - T_w)}{P - (p_s - AP(T - T_w))} \right). \tag{2.13}$$

З врахуванням (2.8) та значення ρ_{H_2O} визначимо об'єм води

$$V_{H_2O} = \frac{G\chi}{\rho_{H_2O}}. \tag{2.14}$$

Тоді $V_{заг}$ визначиться як

$$V_{заг} = S \cdot \sigma_{солі} + \frac{G\chi}{\rho_{H_2O}}. \tag{2.15}$$

У цьому випадку вираз (2.3) з врахуванням (2.5) та (2.15) набуде вигляду

$$V_{долясолі} = \frac{S \cdot \sigma_{солі}}{S \cdot \sigma_{солі} + \frac{G\chi}{\rho_{H_2O}}}. \qquad (2.16)$$

Загальний вираз для визначення діелектричної проникності суміші проміжного $\varepsilon_{СПТ}$ типу має вигляд

$$\lg \varepsilon_{СПТ} = V^a_{долясолі} \lg \varepsilon_{солі} + k\left(1 - V^b_{долясолі}\right)\chi \lg \varepsilon_{H_2O}, \qquad (2.17)$$

де $a = 0{,}5 \div 1$, $b = 0{,}5 \div 1$ при умові, що $a < b$, $k = 1 \div 5$.

З врахуванням (2.4), (2.9), (2.13) та (2.16) вираз (2.17) набуває вигляду

$$\lg \varepsilon_{СПТ} = \left(\frac{S \cdot \sigma_{солі}}{S \cdot \sigma_{солі} + \frac{G\chi}{\rho_{H_2O}}} \right)^a \cdot \lg \varepsilon_{солі} + k \cdot \left(1 - \left(\frac{S \cdot \sigma_{солі}}{S \cdot \sigma_{солі} + \frac{G\chi}{\rho_{H_2O}}} \right)^b \right) \times \qquad (2.18)$$

$$\times \delta \cdot \left(\frac{p_S - AP(T - T_w)}{P - \left(p_S - AP(T - T_w)\right)} \right) \cdot \lg \varepsilon_{H_2O}$$

Другий шар - шар поліметилметакрилату, що є сумішшю матричного типу з дискретно розподіленими мікрочастинками вологи [48].

Для матричних сумішей часто застосовується формула Оделевського [49]

$$\varepsilon_{матр} = \varepsilon_{пол} \cdot \left(1 + \frac{V_{доляH_2O}}{\frac{1 - V_{доляH_2O}}{3} + \frac{\varepsilon_{пол}}{\varepsilon_{H_2O} - \varepsilon_{пол}}} \right), \qquad (2.19)$$

де $\varepsilon_{пол}$ - діелектрична проникність поліметилметакрилату;

ε_{H_2O} - діелектрична проникність води;

$V_{доляH_2O}$ - об'ємна доля води.

Тепер перейдемо до визначення об'ємних долей компонентів, тобто $V_{доля\ H_2O}$, для цього визначимо загальний об'єм $V_{заг}$, який займають ці речовини, тобто

$$V_{пол} + V_{H_2O} = V_{заг}, \tag{2.20}$$

$$V_{долянол} = \frac{V_{пол}}{V_{заг}}, \tag{2.21}$$

$$V_{пол} = S_{пол} d_{пол}, \tag{2.22}$$

де $S_{пол}$ - площа поліметилметакрилату;

$d_{пол}$ - товщина шару поліметилметакрилату,

$$V_{долянH_2O} = (1 - V_{долянол}). \tag{2.23}$$

З врахуванням (2.20), (2.21), (2.22) і (2.23) вираз (2.19) набуває вигляду

$$\varepsilon_{матр} = \varepsilon_{пол} \cdot \left(1 + \frac{\left(1 - \frac{S_{пол} d_{пол}}{S_{пол} d_{пол} + V_{H_2O}} \right)}{1 - \frac{\left(1 - \frac{S_{пол} d_{пол}}{S_{пол} d_{пол} + V_{H_2O}} \right)}{3} + \frac{\varepsilon_{пол}}{\varepsilon_{H_2O} - \varepsilon_{пол}}} \right). \tag{2.24}$$

Для розрахунку ємності даної структури, яка являє собою систему плоских конденсаторів, враховуючи діелектричну проникність суміші проміжного типу та суші матричного типу скористаємось формулою [48]

$$C = \frac{(\varepsilon_{СПТ} + \varepsilon_{матр}) \cdot (12 l_1 + 2 l_2) \cdot \varepsilon_0 \cdot h}{d}, \tag{2.25}$$

де ε_0 – діелектрична проникність вакууму, Ф/м;

l_1, l_2, h – величини, які враховують геометрію конденсатора, мм;

d – відстань між обкладками конденсатора, мм.

З врахуванням виразів (2.18) і (2.24) вираз (2.25) набуває вигляду [48]

$$C = \left[\left(\frac{S \cdot \sigma_{солі}}{S \cdot \sigma_{солі} + \frac{G\chi}{\rho_{H_2O}}} \right)^a \cdot \lg \varepsilon_{солі} + \varepsilon_{пол} \cdot \left(1 + \frac{\left(1 - \frac{S_{пол} d_{пол}}{S_{пол} d_{пол} + V_{H_2O}} \right)}{1 - \frac{\left(1 - \frac{S_{пол} d_{пол}}{S_{пол} d_{пол} + V_{H_2O}} \right)}{3} + \frac{\varepsilon_{пол}}{\varepsilon_{H_2O} - \varepsilon_{пол}}} \right) + \right. \times$$

$$\left. + \delta \cdot k \cdot \left(\frac{p_S - AP(T - T_w)}{P - (p_S - AP(T - T_w))} \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{S \cdot \sigma_{солі}}{S \cdot \sigma_{солі} + \frac{G\chi}{\rho_{H_2O}}} \right)^b \right) \cdot \lg \varepsilon_{H_2O} \right]$$

$$\times \frac{\varepsilon_0 h \cdot (12 l_1 + 2 l_2)}{d}.$$

(2.26)

Згідно з виразом (2.26) була розрахована ємність вологочутливого ємнісного елементу на основі гігроскопічної солі $BaCl_2$, та для двошарової структури $BaCl_2$-поліметилметакрилат за допомогою пакету прикладних програм "*Matlab*". На рисунку 2.8 подано теоретичну та експериментальну залежності ємності вологочутливого елементу на основі гігроскопічної солі та двошарової структури від зміни відносної вологості повітря в діапазоні від 30 % до 99 %.

Як видно із графіка, теоретичні та експериментальні залежності мають добрий збіг. Експериментальні дослідження показали, що створення захисного шару, в якості полімерного покриття з метою запобігання випадіння точки роси, зменшує діапазон зміни ємності. Так, при зміні *W* від 30 % до 99 % діапазон зміни ємності для вологочутливого елементу на основі $BaCl_2$ становить від $6{,}15 \cdot 10^{-11}$ Ф до $13{,}8 \cdot 10^{-11}$ Ф, а для двошарової структури - від $6{,}4 \cdot 10^{-11}$ Ф до $13{,}8 \cdot 10^{-11}$ Ф. Адекватність математичної моделі можна оцінити за допомогою відносної похибки, яка складає 3 %.

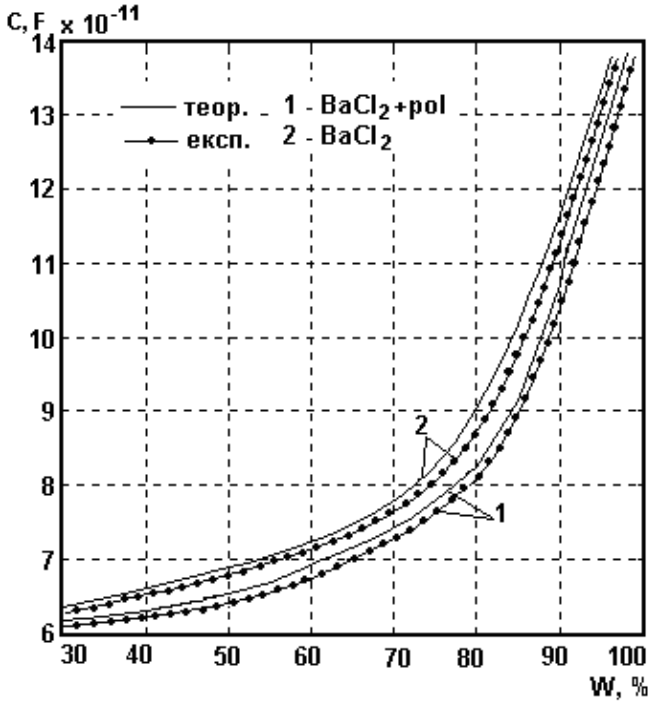


Рисунок 2.8 – Експериментальні та теоретичні залежності зміни ємності від відносної вологості навколишнього середовища ємнісного вологочутливого сенсора

На рисунку 2.9 запропоновано структурну схему автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря, що побудований на основі розробленого вологочутливого елементу та частотного генератора на основі транзисторної структури з відємним опором, дана схема наведена в додатку Б (08-36.МКР.001.00.000 Е1).

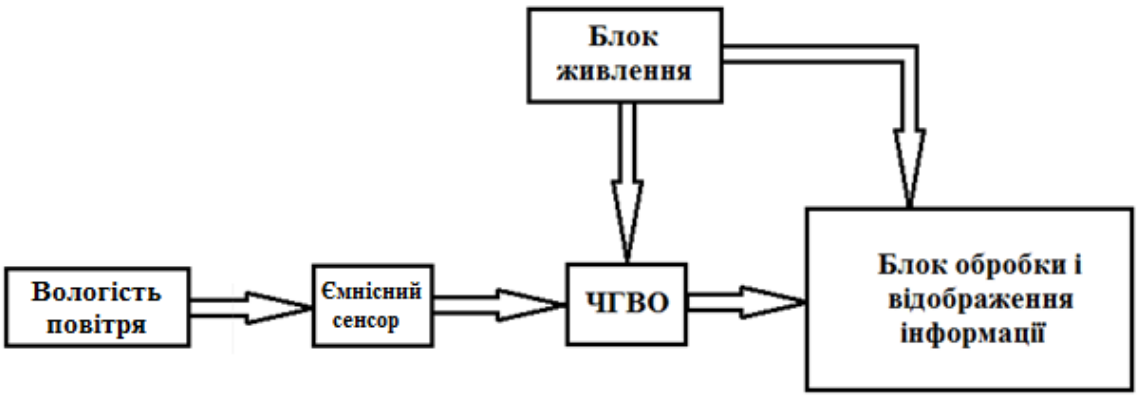


Рисунок 2.9 – Структурна схема автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря

2.3 Висновки до розділу 2

1. Проведено огляд сучасних сенсорів відносної вологості та обґрунтовано вибір у якості вологочутливого елементу ємнісного сенсора відносної вологості повітря.

2. Розроблено математичну модель ємнісного вологочутливого елементу, що являє собою систему V-подібних та трапецієподібних електродів на основі гігроскопічної солі $BaCl_2$. Розраховано, що в діапазоні зміни відносної вологості від 30 % до 99 % ємність вологочутливого конденсатора змінюється від 61,5 пФ до 138 пФ.

3. Розроблено структурну схему автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря.

3 РОЗРОБКА АВТОГЕНЕРАТОРНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВІДНОСНОЇ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ

Сучасний рівень розвитку інформаційно-вимірювальної техніки, як видно з першого розділу, характеризується великою різноманітністю методів перетворення значення вологості в електричний сигнал. Представлення вимірювальної інформацій в аналоговій формі струму чи напруги приводить до необхідності використання аналого-цифрових перетворювачів, вартість яких при високих вимогах до точності значно перевищує вартість самих приладів вологості. Крім того аналого-цифрові перетворювачі потребують додаткових затрат, пов'язаних з забезпеченням захищеності системи від завад, що створює ряд обмежень по використанню традиційних вимірювальних приладів сумісних з цифровими засобами обробки інформації.

Одним з нових напрямків в розробці приладів для вимірювання відносної вологості повітря є створення автогенераторних засобів для вимірювання відносної вологості повітря. В якості первинних сенсорів вологості в автогенераторних структурах можна використати, як ємнісні так і резистивні сенсори вологості. А в якості вторинних засобів обробки вимірювального сигналу (вологості) було використано автогенератори на основі транзисторних структур з від’ємним опором.

Теоретичні дослідження показали, що використання транзисторних структур з від’ємним опором і реактивних властивостей напівпровідникових приладів, суттєво підвищує чутливість і точність виміру досліджуваного сигналу, у нашому випадку відносної вологості повітря. З метою вивчення властивостей автогенераторних засобів для вимірювання відносної вологості повітря необхідно розробити математичну модель, яка б дозволила визначити значення напруги та струму в будь-якій точці схеми в заданий момент часу та отримати аналітичні залежності функцій перетворення та рівнянь чутливості.

3.1 Обгрунтування вибору вторинного перетворювача відносної вологості повітря

При підключенні ємнісних вологочутливих сенсорів до автогенераторних засобів забезпечується можливість досягнення значно більших точностей визначення вологості повітря. Існує чимало різноманітних автогенераторів, які можна використати для обробки аналогового сигналу вологочутливої ємності. Розглянемо деякі зних та оберемо засіб, який надає можливість досягнути набільшої чутливості до вимірювального параметру, а саме до вологочутливої ємності, яка в свою чергу залежить від значення відносної вологості повітря.

Так на рисунку 3.1 наведено електричну схему RC-автогенератора, яка складається з біполярного транзистора включеного за схемою з спільним емітером, фазозсувних RC ланцюгів та вологочутливого ємнісного сенсора C_w.

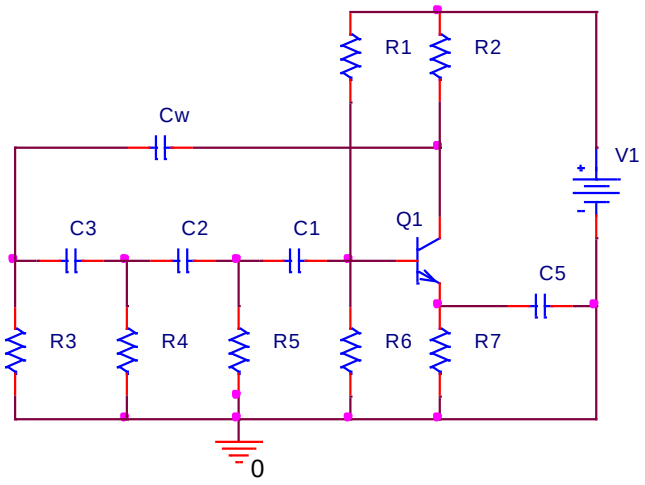


Рисунок 3.1 – Електрична схема RC-генератора [50]

За допомогою схемотехнічного моделювання в середовищі Orcad Family Release було отримано залежність вихідної частоти, а саме чостоти колекторного струму біполярного транзистора від вологочутливої ємності, що наведена на рисунку 3.2.

Як видно з рисунку 3.2 даний автогенератор має досить малу чутливість та діапазон вимірюваної ємності, який лежить в межах від 80 до 225 нФ.

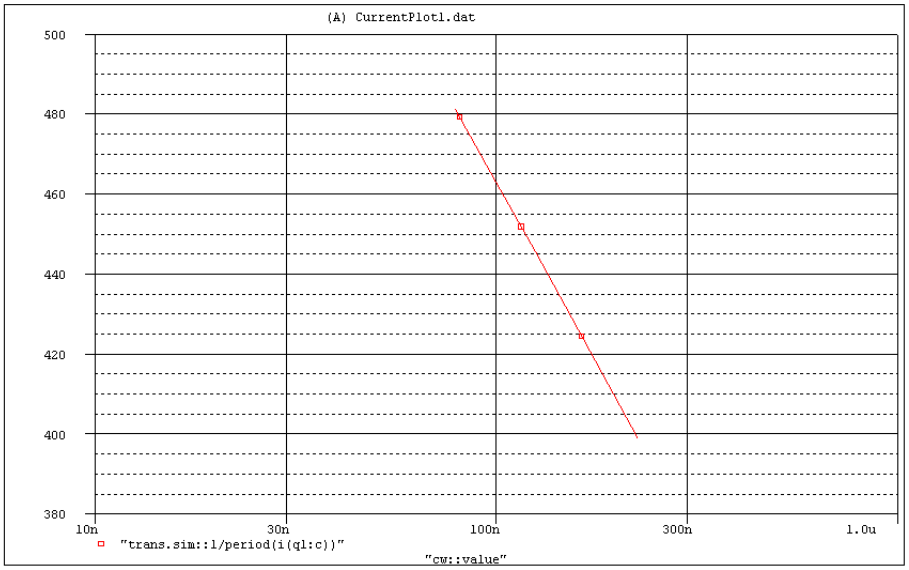


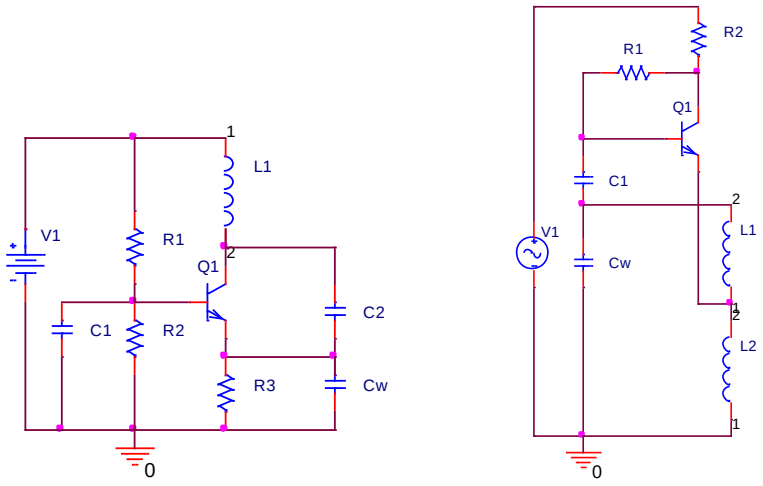
Рисунок 3.2 – Залежність вихідної частоти RC-генератора від вологочутливої ємності

RC-автогенератори є досить простими в реалізації, мають низьку собівартість, малі габарити та масу, але не дивлячись на перераховані переваги мають ряд недоліків, а саме стабільність частоти в них значно менша ніж у LC-генераторів, форма коливань дещо відрізняється від синусоїдальної і суттєво змінюється при зміні параметрів активного елемента та кола зворотнього зв’язку. Ці недоліки не дозволяють застосовувати їх у схемах де необхідно досягати високої точності та стабільності частоти. Дані генератори мають низький ККД та невисоку добротність.

На рисунку 3.3 наведено електричні схеми LC-автогенераторів [50], а саме автогенератора з ємнісним зворотним зв’язком (рис. 3.3 а) та індуктивним зворотним зв’язком (рис. 3.3 б).

В результаті схемотехнічного моделювання в середовищі Orcad Family Release було отримано залежності вихідної частоти LC-генераторів, а саме чостоти колекторного струму біполярного транзистора від ємності КЦС для ємнісної трьохточки на рисунку 3.4 та індуктивної трьох точки на рисунку 3.5.

З рисунку 3.4 та рисунку 3.5 видно, що індуктивна трьохточка має більшу чутливість ніж ємнісна, але працює в меншому діапазоні зміни вологочутливої ємності. Так робочий діапазон вологочутливої ємності для ємнісної трьохточки складає від 260 пФ до 2 нФ, а для індуктивної від 180 пФ до 4,5 нФ.



а) б)

Рисунок 3.3 – Електрична схема LC-генератора: а) ємнісна трьохточка; б) індуктивна трьохточка [50]

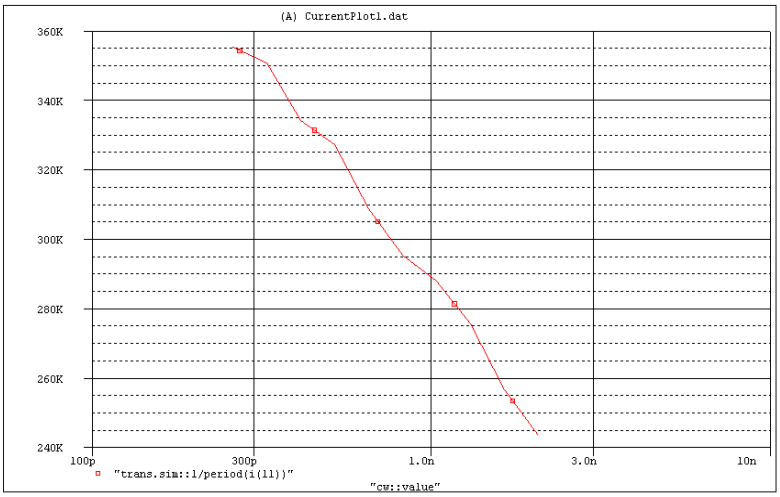


Рисунок 3.4 – Залежність вихідної частоти ємнісної трьохточки від вологочутливої ємності

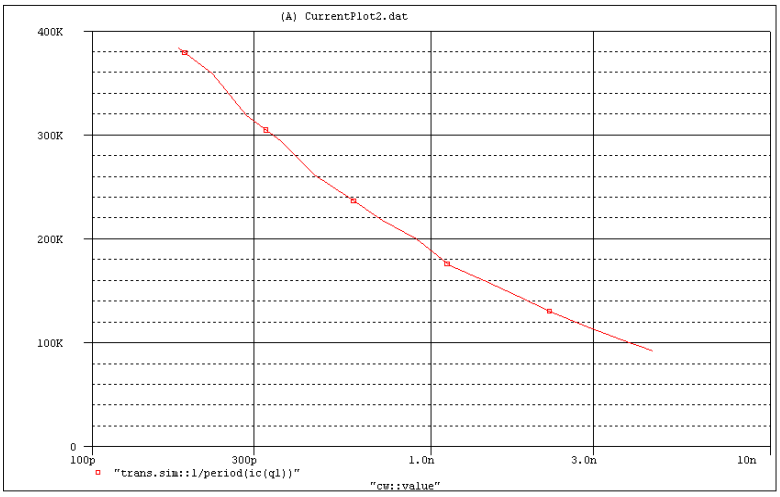


Рисунок 3.5 – Залежність вихідної частоти індуктивної трьохточки від вологочутливої ємності

LC-генератори мають більшу стабільність ніж RC-генератори коефіцієнт їх власної нестабільності складає близько 10^{-4}, форма їхнього вихідного сигналу досить близька до синусоїдальної. Недоліками LC-генераторів є те, що на низьких частотах використання LC-генераторів є досить складним. Також до недоліків LC-генераторів можна віднести те, що вони мають труднощі виготовлення високо-стабільних температурно-незалежних котушок індуктивності, які в свою чергу мають велику вартість та габарити.

В якості генератора розглянемо також електричну схему мультивібратора в автоколивальному режимі роботи, що зображена на рисунку 3.6. Даний мультивібратор складається з джерела живлення, двох однакових біполярних транзисторів, індуктивностей та вологочутливої ємності.

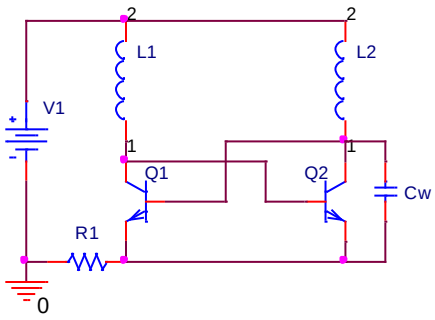


Рисунок 3.6 – Електрична схема мультивібратора [50]

За допомогою схемотехнічного моделювання в середовищі Orcad Family Release отримано залежність вихідної частоти мультивібратора, а саме чостоти колекторного струму біполярних транзисторів від вологочутливої ємності, що зображена на рисунку 3.7.

З рисунку 3.7 видно, що робочий діапазон вологочутливої ємності складає від 80 пФ до 800 пФ, а також, що мультивібратор має найменшу чутливість серед розглянутих автогенераторів. Перевагою мультивібратора є висока стабільність частоти генерації, однак недоліком застосування такого генератора є низька чутливість та складність підбору однакових за параметрами транзисторів. Верхня межа частоти для даного генератора складає всього одиниці МГц, так як на більших частотах обидва транзистори закриваються і для відновлення роботи потрібно вимкнути і ввімкнути живлення знову [50].

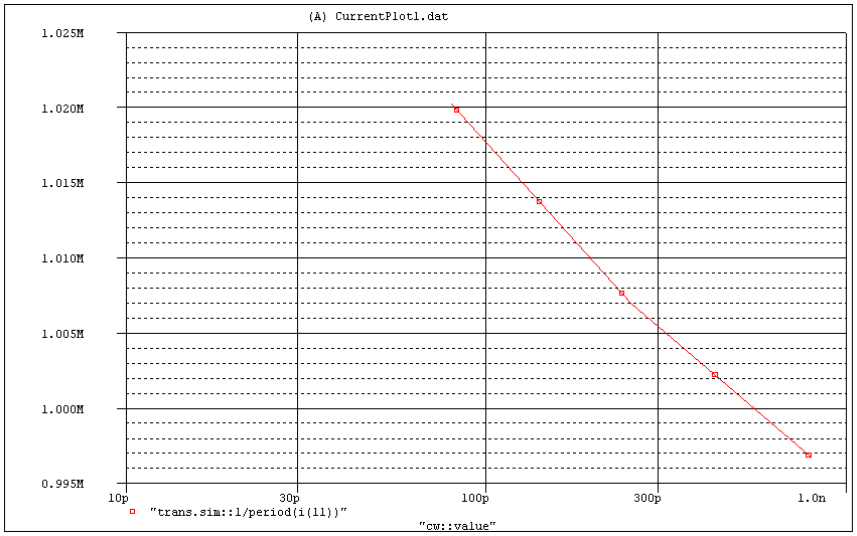


Рисунок 3.7 – Залежність вихідної частоти мультивібратора від вологочутливої ємності

Перспективни напрямком є використання автогенераторів на транзисторних структурах з від'ємним опром. Використання транзисторних структур з від'ємним опором і реактивних властивостей напівпровідникових приладів, суттєво підвищує чутливість і точність виміру досліджуваного сигналу, у нашому випадку вологості нафтопродуктів. Розглянемо автогенератор на основі транзисторної структури на від'ємному опорі, що зображений на рисунку 3.8 [50]. Даний генератор складається з джерела живлення, двох подільників напруги, біполярних транзисторів з різним типом провідності, котушки індуктивності та вологочутливої ємності.

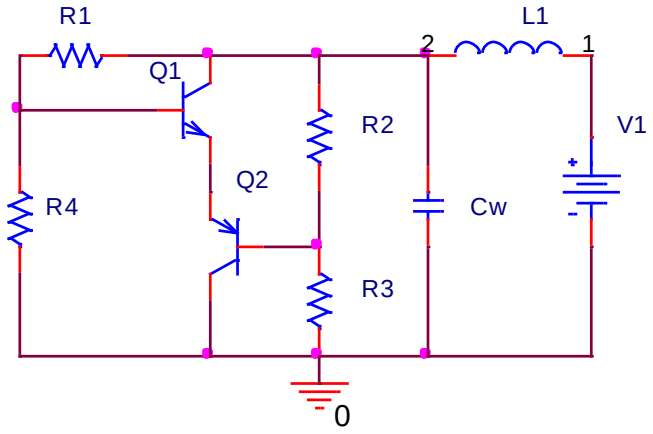


Рисунок 3.8 – Електрична схема автогенератора на транзисторній структурі з від'ємним опором

На рисунку 3.9 зображено залежність вихідної частоти автогенератора на відємному опорі від вологочутливої ємності. З даної характеристики легко бачити, що даний автогенератор має найбільшу чутливість та робочий діапазон вологочутливої ємності, який складає від 20 пФ до 930 нФ серед розглянутих вище автогенераторів.

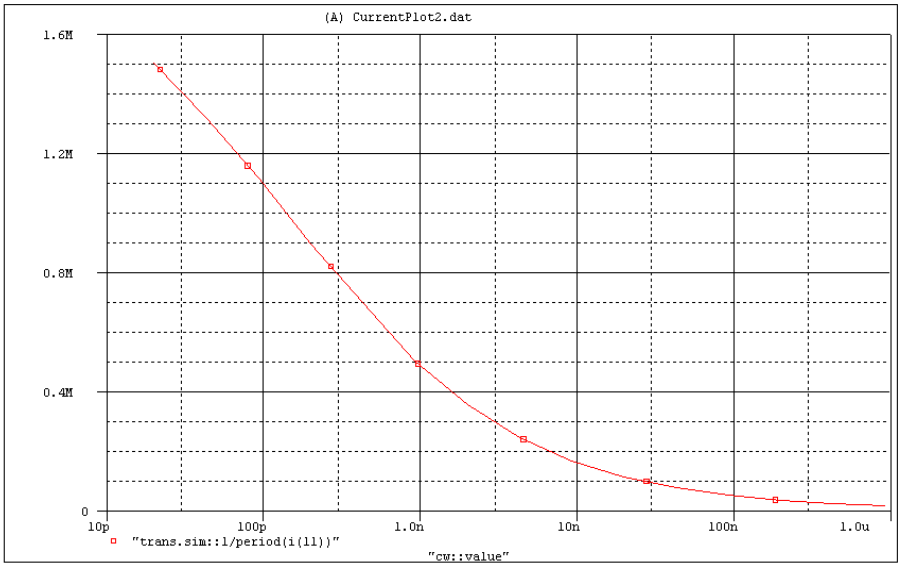


Рисунок 3.9 – Залежність вихідної частоти автогенератора на транзисторній структурі з від'ємним опором

Автогенератори на основі транзисторних структур з від'ємним опором мають такі переваги [50]: 1) висока короткострокова стабільність частоти генерованих коливань (відносна нестабільність частоти складає біля $(1,5..2,1)*10^{-5}$); 2) широкий коефіцієнт перекриття по частоті генерованих коливань – у межах від 5% до 70% відносно центральної частоти; 3) малі величини напруги живлення та керування $U_{ж}$=(2..10)В; 4) мала спожита потужність та високий ККД - (45..95)% для різних діапазонів частот; 5) можливість отримання надширокосмугової ЧМ з великим індексом модуляції (m>20); 6) сумісність з інтегральною технологією виготовлення напівпровідникових ІМС; 7) мала кількість пасивних елементів кіл живлення та налаштування, що підвищує надійність і довговічність. Для електричного перелаштування частоти генерації не потрібні додаткові елементи перестройки

(варікапи, варістори, електрично керовані опори та ін.), при цьому основним є м'який режим генерації.

Враховуючи усі переваги автогенераторів на від'ємному опорі та їх високу чутливість до вхідного параметру надалі в роботі було використано саме їх.

3.2 Математична модель автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря з вологочутливим ємнісним сенсором

На рисунку 3.10, що в додатку Г (08-36-МКР.001.00.000 Е2), зображено електричну схему автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря [50] в якому при дії вологи на вологочутливу ємність $C_w(W,T)$ змінюється ємнісна складова повного опору на електродах емітер-перший затвор транзисторів VT1 та VT2, що викликає ефективну зміну частоти коливального контуру. Для вибору оптимального режиму роботи автогенератора в схемі використовується два джерела живлення постійної напруги U_1 та U_2.

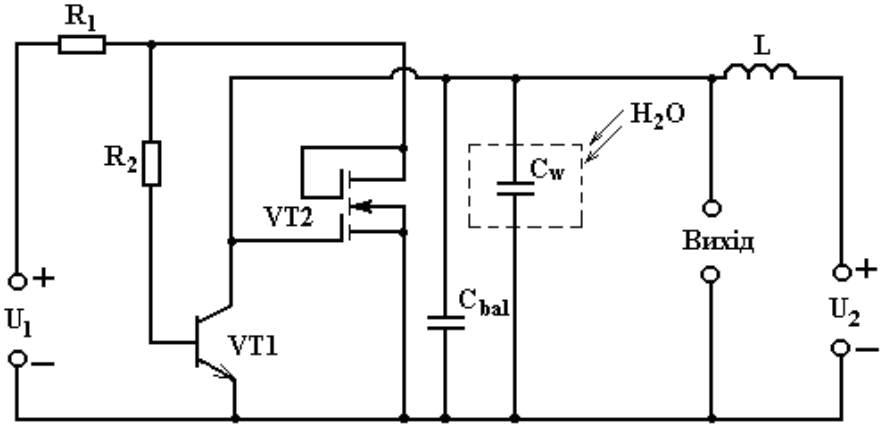


Рисунок 3.10 – Електрична схема автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря з ємнісним сенсором

Для визначення функції перетворення та чутливості на рисунку 3.11, що в додатку Д (08-36-МКР.001.00.000 Е3), наведено еквівалентну схему, яка реалізує залежність частоти генерації від зміни відносної вологості повітря.

Для зручності розрахунків об’єднавши паралельні ємності $C_w(W,T)$ і C_{bal} у $C_i(W,T)=C_w(W,T)+C_{bal}$, та струми I_f і I_r у $I_{bt}=(I_f-I_r)/QB$, а також скориставшись методом змінних стану на рисунку 3.12 наведено перетворену еквівалентну схему РВН.

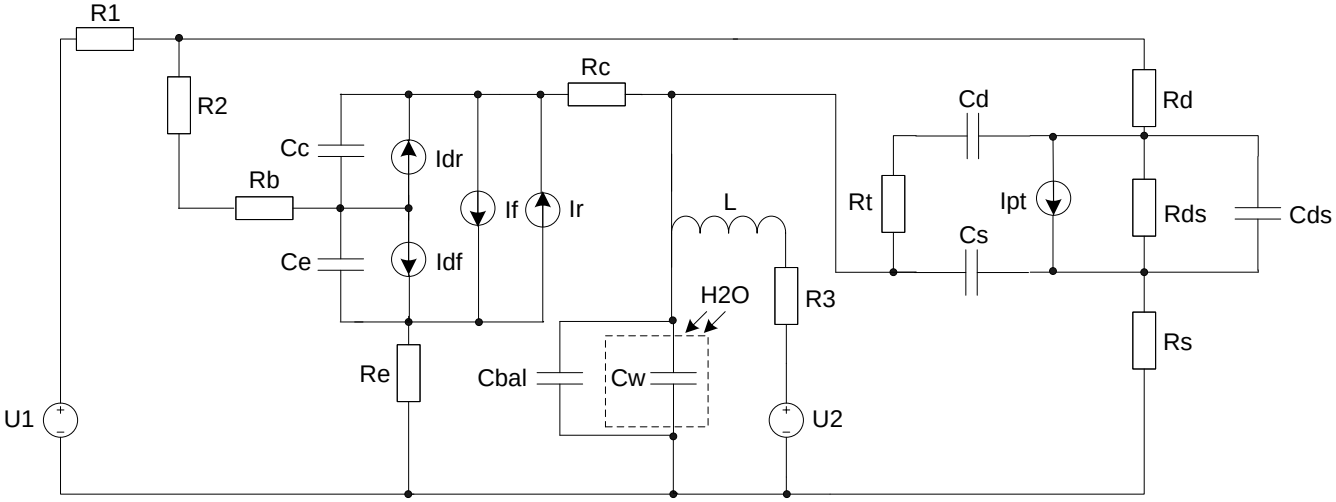


Рисунок 3.11 – Еквівалентна схема

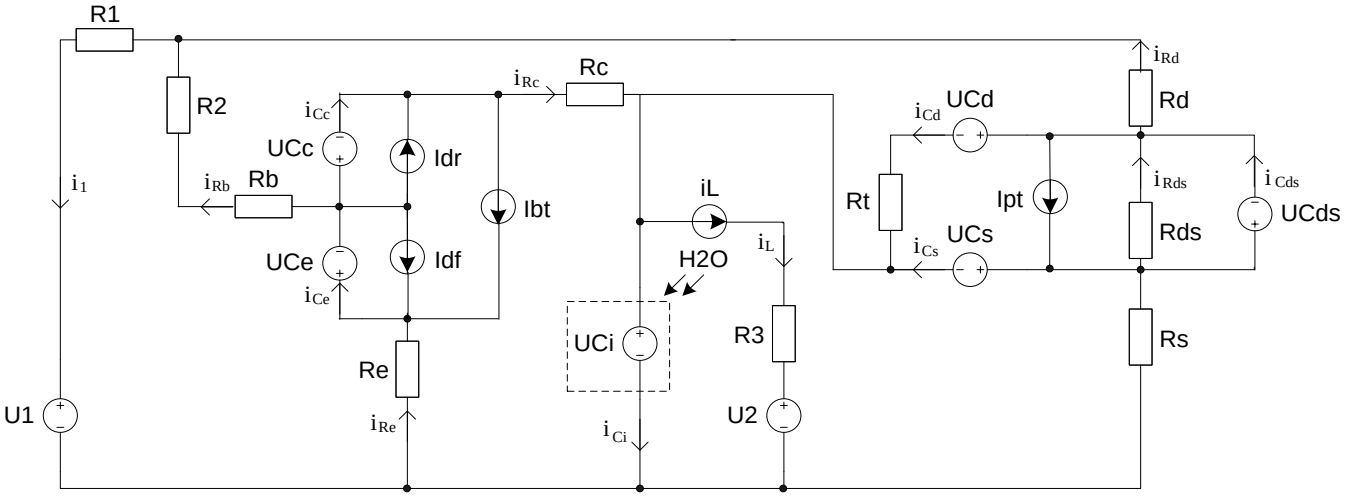


Рисунок 3.12 – Перетворена еквівалентна схема

На основі вибраних напрямків струмів було складено систему рівнянь Кірхгофа:

$$
\begin{cases}
L\dfrac{di_L(t)}{dt} = U_{C_i}(W,t) - (U_2 + i_L(t)R_3); \\
C_d\dfrac{dU_{C_d}(t)}{dt} = \dfrac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_d}(t)}{R_g}; \\
C_{ds}\dfrac{dU_{C_{ds}}(t)}{dt} = A_9 + \dfrac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_i}(W,t)}{R_d} + \\
+\dfrac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_d}(t)}{R_g} - \dfrac{U_{C_{ds}}(t)}{R_{ds}} + I_{pt}; \\
C_s\dfrac{dU_{C_s}(t)}{dt} = -A_4 - A_9 + \dfrac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_d}(t)}{R_g}; \\
C_i\dfrac{dU_{C_i}(W,t)}{dt} = -i_L + A_8 + A_4 - A_9 + 2\left(\dfrac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_d}(t)}{R_g}\right); \\
C_c\dfrac{dU_{C_c}(t)}{dt} = A_8 + I_{bt} - I_{dr}; \\
C_e\dfrac{dU_{C_e}(t)}{dt} = \dfrac{A_3 + R_e A_7 R_1}{A_2} + I_{bt} + I_{df} - \\
-\dfrac{U_1 + U_{C_e}(t) + R_e\dfrac{A_3 + R_e A_7 R_1}{A_2} + A_7 R_1}{A_1}.
\end{cases}
\tag{3.1}
$$

де R_1, R_2, R_3 - навантажувальні опори; $R_b, R_e, R_c, R_g, R_d, R_s$ - 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; C_{bal} - баластна ємність; $C_w(W,T)$ - вологочутлива ємність; L - індуктивність; U_1, U_2 - джерела живлення постійної напруги; I_{pt} - струм польового транзистора; I_{dr}, I_{df} - струми внутрішніх переходів база-колектор та база-емітер; I_f, I_r - прямий та зворотній струми біполярного транзистора;

$A_1 = R_e + R_b + R_2$; $A_2 = R_c(R_e + R_b + R_2) + R_e(R_b + R_2)$;

$$A_3 = A_1\left(-U_{C_i}(W) - U_{C_c}\right) - U_{C_e}\left(R_b + R_2\right) + R_e U_1;$$

$$A_4 = 2I_{pt} - 2\frac{U_{C_{ds}}}{R_{ds}} + \frac{-U_{C_i}(W) - U_{C_s}}{R_s};$$

$$A_5 = \left(R_b + R_2\right)\left(U_{C_e} A_2 + R_e A_3\right) + R_c A_1 A_3 +$$
$$+ A_2 \cdot \left(U_1\left(R_b + R_2 - A_1\right) + A_1\left(U_{C_c} - U_{C_{ds}} - U_{C_s}\right)\right);$$

$$A_6 = R_1\left(A_2 A_1 + \left(-R_e^2 - A_2\right)\cdot\left(R_b + R_2\right) - R_e R_c A_1\right); \quad A_7 = \frac{A_5}{A_6};$$

$$A_8 = \frac{A_1\left(-U_{C_i}(W) - U_{C_c}\right) - U_{C_e}\left(R_b + R_2\right) + R_e\left(U_1 + A_7 R_1\right)}{A_2};$$

$$A_9 = \frac{A_3 + R_e A_7 R_1}{A_2};$$

$$A_{10} = \frac{U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_c} - A_9 R_c}{R_d} - \frac{U_1 + U_{C_e} + R_e A_9 + A_7 R_1}{A_1 R_d}(R_b + R_2).$$

Система рівнянь (3.1) є нелінійною оскільки містить в собі нелінійні елементи, а саме джерела струмів I_{pt}, I_{dr}, I_{df}, $I_{bt} = \left(I_f - I_r\right)/QB$ та ємності C_c, C_e.

$$I_f = I_S\left(e^{\frac{V_{BE}}{VT\cdot NF}} - 1\right), \tag{3.2}$$

$$I_r = I_S\left(e^{\frac{V_{BC}}{VT\cdot NR}} - 1\right), \tag{3.3}$$

$$I_{df} = \frac{I_f}{BF}, \tag{3.4}$$

$$I_{dr} = \frac{I_r}{BR}, \tag{3.5}$$

$$I_{pt} = \begin{cases} 0, \quad V_{GS} - VTO \le 0; \\ \beta \cdot (V_{GS} - VTO)^2, \quad V_{GS} - VTO \le V_{DS}; \\ \beta \cdot V_{DS} \cdot [2 \cdot (V_{GS} - VTO) - V_{DS}], \quad V_{GS} - VTO \rangle V_{DS} \end{cases}, \tag{3.6}$$

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;

BF, BR - максимальні коефіцієнти передачі струму по схемі з загальним емітером в нормальному та інверсному режимах;

QB - коефіцієнт неідеальності переходів біполярного транзистора;

VTO - 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 складову. Розглянемо окремо ємність колекторного переходу C_c:

$$C_c = C_c dif + C_c bar; \tag{3.7}$$

$$C_c dif = \frac{(I_r + I_S) \cdot TR}{VT \cdot NR}; \tag{3.8}$$

$$C_c bar = \begin{cases} \dfrac{CJC}{\left(1 - \dfrac{V_{BC}}{V_{JC}}\right)^{MJC}}, \quad V_{BC} \langle 0; \\ CJC, \quad V_{BC} \ge 0. \end{cases} \tag{3.9}$$

Ємність емітерного переходу запишеться C_e:

$$C_e = C_e dif + C_e bar; \tag{3.10}$$

$$C_e dif = \frac{\left(I_f + I_S\right) \cdot TF}{VT \cdot NF}; \tag{3.11}$$

$$C_e bar = \begin{cases} \dfrac{CJE}{\left(1 - \dfrac{V_{BE}}{V_{JE}}\right)^{MJE}}, & V_{BE} < 0; \\ CJE, \quad V_{BE} \geq 0 \quad , \end{cases} \tag{3.12}$$

де $C_c dif, C_c bar, C_e dif, C_e bar$ - 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 (3.1) є динамічною математичною моделлю автогенераторного перетворювача вологості нафтопродуктів, 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 автогенератора дійсно будуть існувати періодичні коливання, частота яких буде змінюватись із зміною вологочутливої ємності (рис. 3.13). Так при $C_w(W,T) = 50$ пФ частота F=1288 кГц, при $C_w(W,T) = 75$ пФ частота F=1250 кГц, при $C_w(W,T) = 100$ пФ частота F=1199 кГц, при $C_w(W,T) = 120$ пФ частота F=1179 кГц, а при $C_w(W,T) = 140$ пФ частота F=1148 кГц, при цьому U_1=U_2=1,25 В.

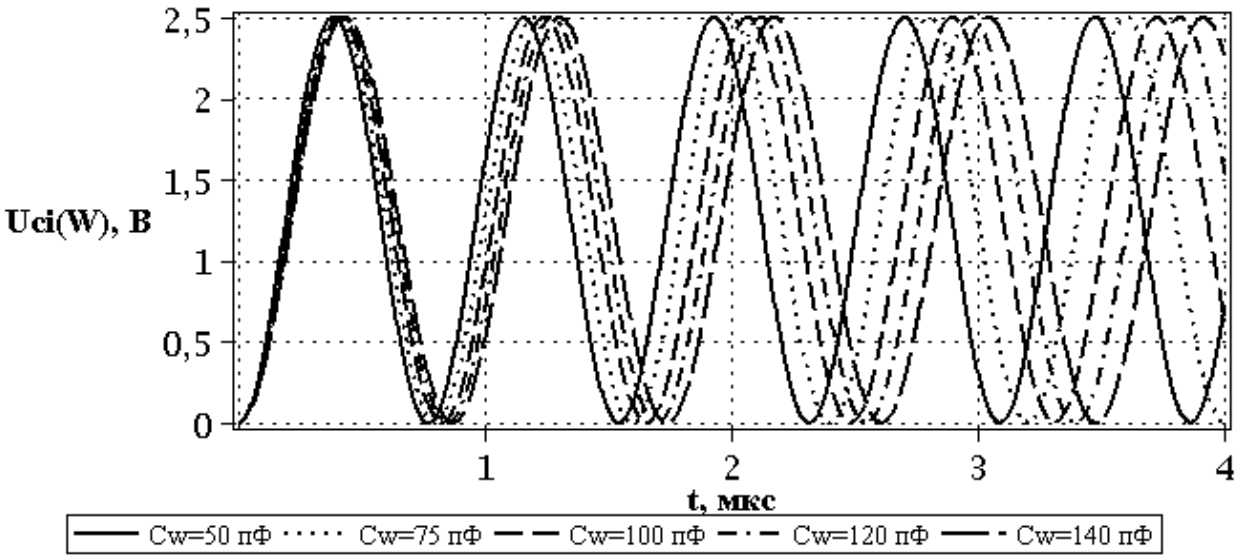


Рисунок 3.13 – Зміна напруги вихідного сигналу від часу при різних значеннях вологочутливої ємності

На рисунку 3.14. наведено зміну напруги вихідного сигналу від часу при різних значеннях відносної вологості повітря. З даної характеристики добре видно, що при збільшенні відносної вологості повітря частота вихідного сигналу буде зменшуватись.

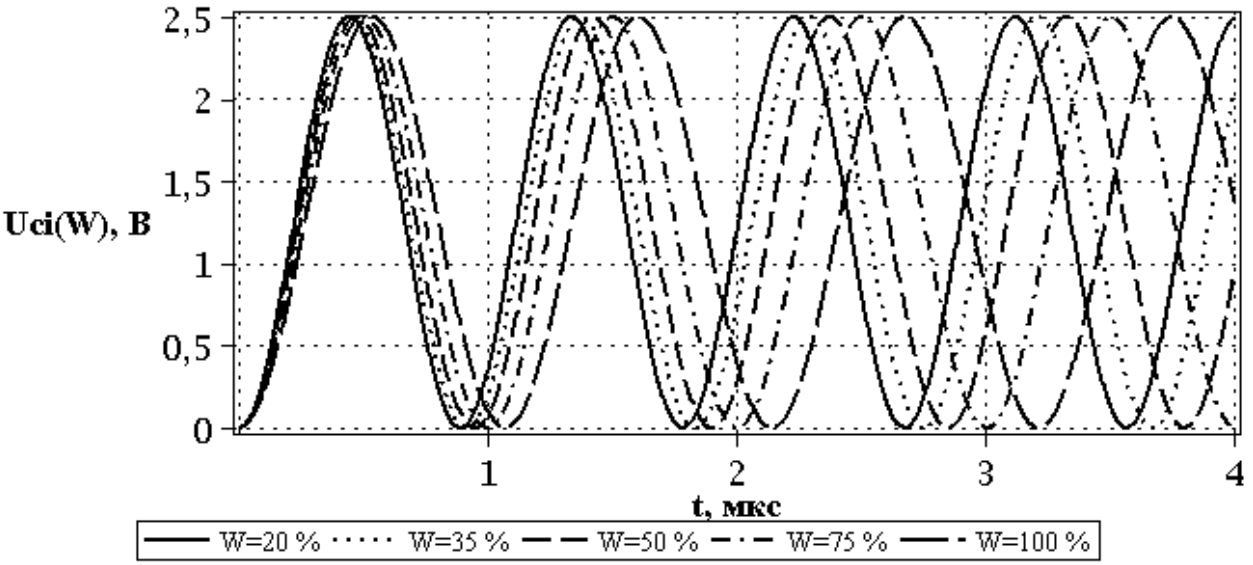


Рисунок 3.14 – Зміна напруги вихідного сигналу від часу при різних значеннях відносної вологості поітря

Знаючи значення частоти вихідного сигналу F при різних значеннях вологочутливої ємності $C_w(W,T)$ можна отримати функцію перетворення в загальному вигляді, при $U_1=U_2=1{,}25$ В. Так на рисунку 3.15 наведено функцію перетворення автогенераторного засобу для вимірювання вологості в загальному вигляді з використання у якості вологочутливого елементу ємнісного сенсора, при різних значеннях індуктивності.

Для проведення експериментальних досліджень у схемі, що зображена на рисунку 3.32 було використано транзистори BF240 та BF998. Для зменшення собівартості засобу було використано лише одне джерело живлення, тобто $U_1=U_2=1{,}25$ В.

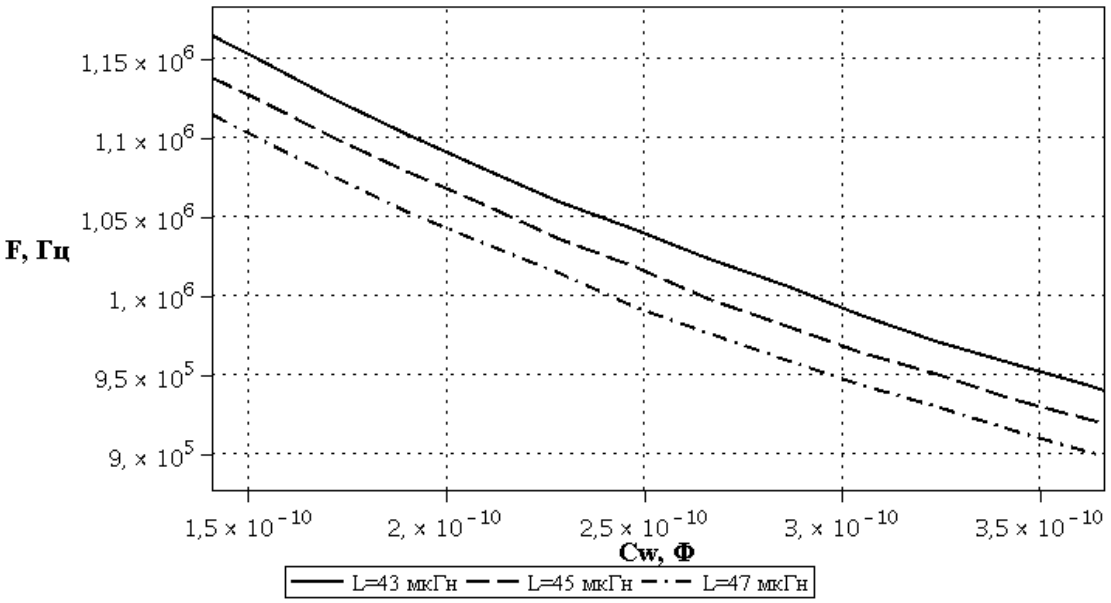


Рисунок 3.15 – Теоретична функція перетворення в загальному вигляді

Для більшого розуміння на рис. 3.16 наведено функцію перетворення автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря.

Як видно з рис. 3.16 функція перетворення є нелінійною. Чутливість в діапазоні зміни відносної вологості повітря від 20 % до 99 % складає від 6,09 кГц/% до 10,9 кГц/%.

З рис. 3.16 можна бачити, що розбіжність теоретичних та експериментальних результатів для автогенераторного засобу є різною при різних значеннях вологості повітря *W*, але не перевищує 5 %.

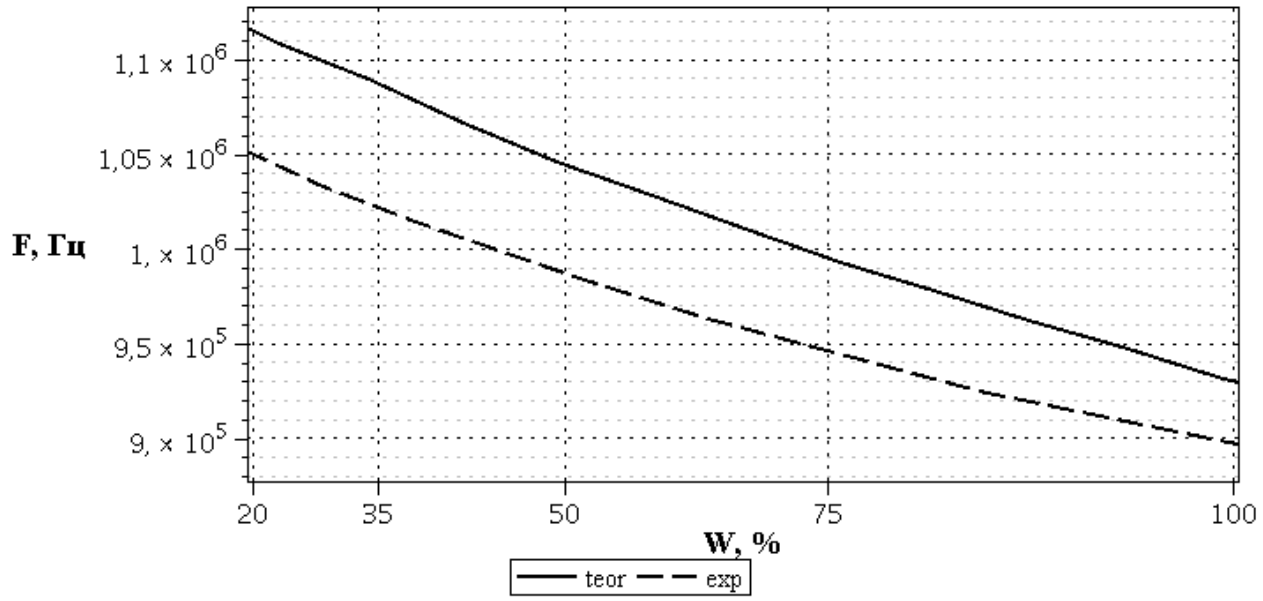


Рисунок 3.16 – Теоретична та експериментальна функція перетворення автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря

Залежність частоти генерації від вологості повітря було визначено по контуру зворотного струму згідно еквівалентної схеми (рис. 3.11).

Функція перетворення описується виразом (3.13)

$$F = \frac{\sqrt{LC_cC_eC_i(W,T)\left(C_cC_e + C_cC_i(W,T) + C_eC_i(W,T)\right)}}{2\pi LC_cC_eC_i(W,T)}. \qquad (3.13)$$

На основі виразу (3.13) визначена чутливість автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря

$$S_W^F = \frac{LB_1\dfrac{\partial C_i(W,T)}{\partial W} + LC_eC_cC_i(W,T)\left(C_c + C_e\right)\dfrac{\partial C_i(W,T)}{\partial W}}{4\cdot\left(\pi LB_2C_cC_eC_i(W,T) - \dfrac{B_2\dfrac{\partial C_i(W,T)}{\partial W}}{2\pi LC_cC_eC_i^{\,2}(W,T)}\right)}, \qquad (3.14)$$

де

$B_1 = C_cC_e\left(C_cC_e + C_cC_i(W,T) + C_eC_i(W,T)\right)$;

$$B_2 = \sqrt{LC_cC_eC_i(W,T)(C_cC_e + C_cC_i(W,T) + C_eC_i(W,T))}.$$

Графік залежності чутливості представлений на рисунку 3.17.

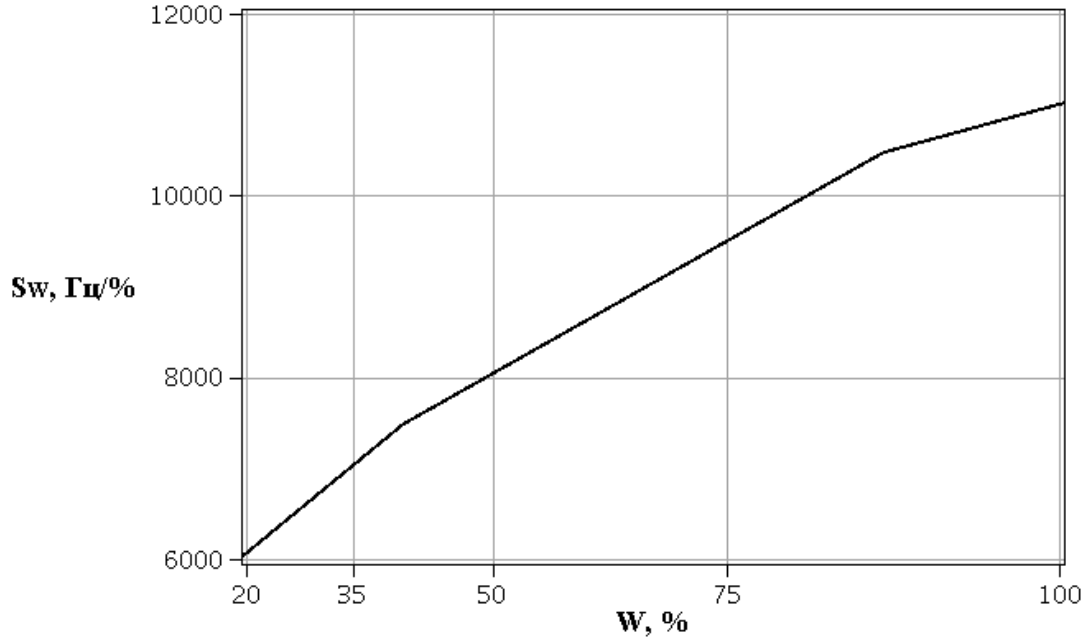


Рисунок 3.17 – Залежність чутливості від зміни відносної вологості повітря

З рисунку 3.17 видно, що із зміною вологості від 20 до 99 %, чутливість змінюється від 6090 Гц/% до 10900 Гц/%.

3.3 Математична модель автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря з вологочутливим резистивним сенсором

Розглянемо електричну схему автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря з вологочутливим резистивним сенсором зображену на рисунку 3.18 та наведену в додатку Е (08-36-МКР.001.00.000 Е2). В якості вологочутливого сенсора слугував вологочутливий резистивний елемент HR202.

Автогенераторний засіб розроблено у вигляді гібридної інтегральної схеми на основі біполярного транзистора VT1 та польового двозатворного транзистора VT2. Від'ємний диференціальний опір, який утворений паралельним включенням повного опору з ємнісною складовою на електродах колектор біполярного транзистора VT1, стік польового транзистора VT2 та індуктивності

L1, приводить до виникнення електричних коливань в контурі. Два резистора R1, R2 та вологочутливий резистивний елемент R_W утворюють дільник напруги для живлення біполярного транзистора та створення позитивного зворотного зв'язку, а резистори R3 та R4 − для керування польового транзистора VT2. Крім того, електричне живлення біполярного VT1 та польового VT2 транзисторів залежить від величини зміни опору вологочутливого резистивного елемента R_W зі зміною вологості досліджуваного середовища. Проходженню змінного струму через джерело постійної напруги запобігає обмежувальний конденсатор C1. При дії вологи на вологочутливий резистивний елемент R_W змінюється ємнісна складова повного опору на електродах транзисторної структури, що викликає ефективну зміну частоти коливального контуру. Схема мікроелектронного частотного пристрою вимірювання вологості з вологочутливим резистивним елементом HR202 (рис.3.18) була зібрана на біполярному транзисторі BC857C та польовому двозатворному транзисторі BF998 при напрузі живлення 5 В. Опори схеми мають такі значення R_1=2,2 кОм; R_2=10 Ом; R_3=8,2 кОм; R_4=5,6 кОм. Індуктивність автогенератора складає 100 мкГн. Цьому режиму, при вологості 30 %, відповідала частота генерації 1176,5 кГц. Описана схема генератора дозволяє одержати вихідну напругу до 45 В у широкому діапазоні частот. Нестабільність частоти дорівнює $1{,}87 \cdot 10^{-4}$ Гц.

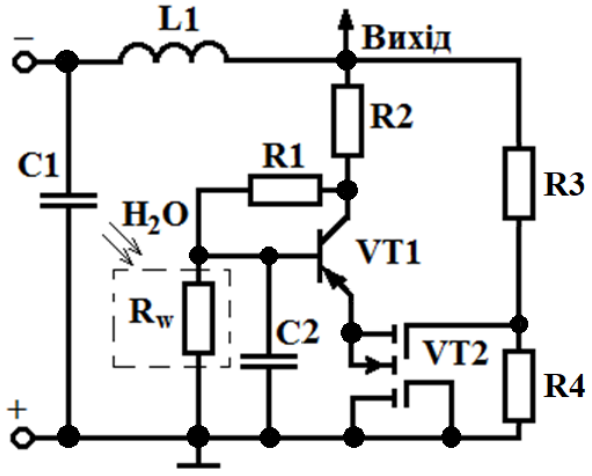


Рисунок 3.18 – Автогенераторний засіб для вимірювання відносної вологості повітря з вологочутливим резистивним сенсором

Без знання параметрів перетворювачів вологості неможливо їх створити, тому задача полягала в розробці математичної моделі, на основі рішення якої будуть визначені функція перетворення та рівняння чутливості.

На основі електричної схеми пристрою, по колу позитивного зворотного зв'язку визначено рівняння, на основі якого отримано аналітичний вираз функції перетворення:

$$F = \frac{\pi \cdot R_W(W) \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{cb} \pm \sqrt{\pi^2 \cdot R_W^2(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}^2 + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5}}{4 \cdot \pi^2 \cdot L_1 \cdot R_W(W) \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{cb}} \quad (3.15)$$

де $K_1 = 4 \cdot \pi^2 \cdot L_1 \cdot R_W^2(W) \cdot C_{cb} \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{eb}^2$, $K_2 = -4 \cdot \pi^2 \cdot L_1^2 \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{cb}^2 - 8 \cdot \pi^2 \cdot L_1^2 \cdot C_{eb} \cdot C_{cb}^2 \cdot C_{ds}$,

$K_3 = -4 \cdot \pi^2 \cdot L_1^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}^2 + L_1 \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{cb}$, $K_4 = 2 \cdot L_1 \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{cb} + L_1 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}$,

$K_5 = 4 \cdot \pi^2 \cdot L_1 \cdot R_W^2(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}^2$.

Позначення, які використовувались в аналітичних виразах, а саме: $R_W(W)$ – вологочутливий резистивний елемент; L_1 – індуктивність коливального контуру; C_{eb} – ємність p-n-переходу емітер-база; C_{cb} – ємність p-n-переходу колектор-база; C_{ds} – ємність стік-витік.

На основі виразу (3.15) теоретично розраховано та експериментально досліджено функції перетворення автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря. Експериментальні дослідження проводились при різних значеннях температури навколишнього середовища (рис. 3.19).

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що збільшення температури навколишнього середовища при діапазоні відносної вологості $W = 30 \div 85\%$ приводить до розширення діапазону генерації автогенераторного перетворювача вологості, що в свою чергу збільшує чутливість перетворювача при збільшені температури навколишнього середовища. Таким чином, результати досліджень показали:

– 823 кГц ($T = 20\,°\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$);

– 1026 кГц ($T = 30\,°\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$);

– 1194 кГц ($T = 40\,°\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$);

– 1323 кГц ($T = 50\,°\text{C}$, $W = 30 \div 85\%$).

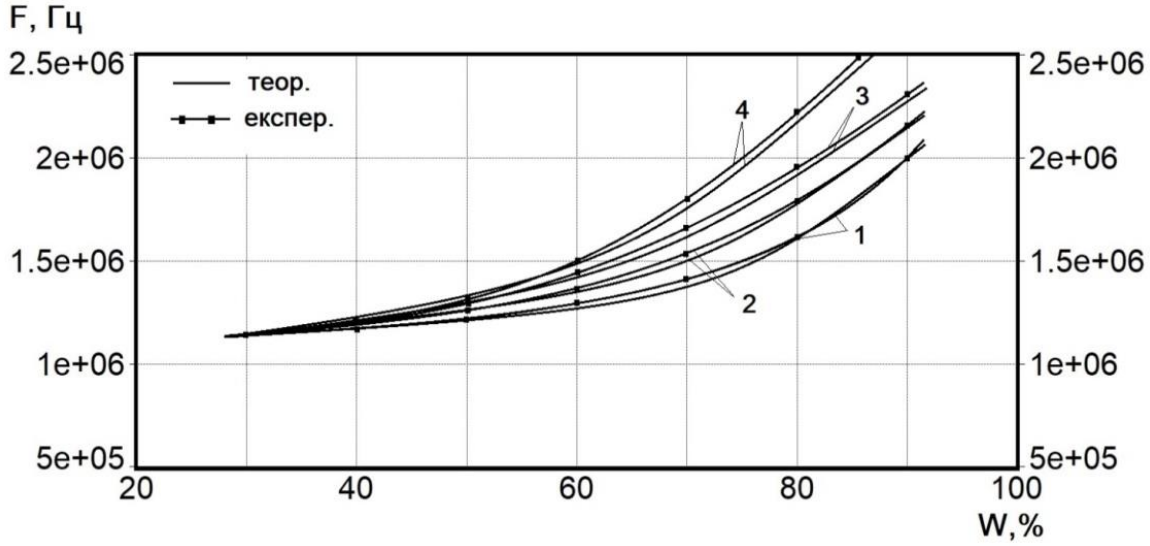


Рисунок 3.19 – Експериментальні та теоретичні залежності частоти генерації від зміни відносної вологості повітря пристрою з частотним виходом для вимірювання вологості з вологочутливим резистивним елементом: 1 – T=20 °C; 2 – T=30 °C; 3 – T=40 °C; 4 – T=50 °C

На основі виразу функції перетворення (3.15) визначено аналітичний вираз рівняння чутливості (3.16) розробленого пристрою:

$$S_W^F = \frac{\pi \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{cb} \cdot \left(\frac{\partial R_W(W)}{\partial W}\right) \pm \frac{M_1 \cdot \left(\frac{\partial R_W(W)}{\partial W}\right) + M_2 \cdot \left(\frac{\partial R_W(W)}{\partial W}\right) + M_3 \cdot \left(\frac{\partial R_W(W)}{\partial W}\right)}{\sqrt{\pi^2 \cdot R_W^2(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}^2 + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5}}}{4 \cdot \pi^2 \cdot L_1 \cdot R_W(W) \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{cb}} -$$

$$- \frac{\pi \cdot R_W(W) \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{cb} \pm \sqrt{\pi^2 \cdot R_W^2(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}^2 + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5} \left(\frac{\partial R_W(W)}{\partial W}\right)}{4 \cdot \pi^2 \cdot L_1 \cdot R_W^2(W) \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{cb}} \quad (3.16)$$

де $M_1 = \pi^2 \cdot R_W(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}^2$,

$M_2 = 4 \cdot \pi^2 \cdot L_1 \cdot R_W(W) \cdot C_{cb} \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{eb}^2$,

$M_3 = 4 \cdot \pi^2 \cdot L_1 \cdot R_W(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{cb}^2$.

Експериментальні та теоретичні залежності чутливості від зміни відносної вологості та температури досліджуваного середовища розробленого автогенераторного засобу для вимірювання вологості з вологочутливим резистивним елементом подано на рисунку 3.20.

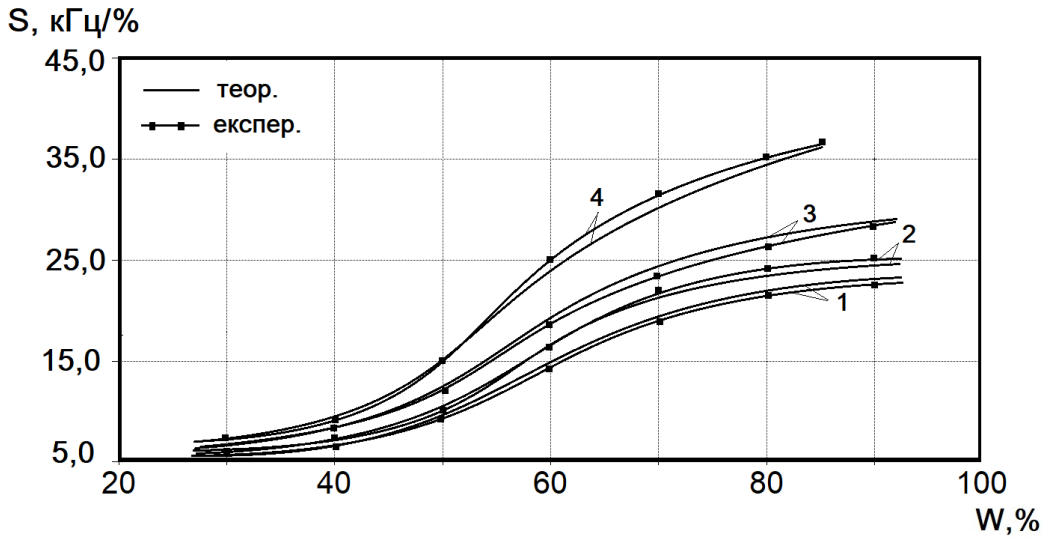


Рисунок 3.20 – Експериментальні та теоретичні залежності чутливості від зміни відносної вологості повітря пристрою з частотним виходом для вимірювання вологості з вологочутливим резистивним елементом: 1 – T=20 °C; 2 – T=30 °C; 3 – T=40 °C; 4 – T=50 °C

З рисунку 3.20 видно, що збільшення температури навколишнього середовища при діапазоні відносної вологості $W = 30 \div 85\%$ призводить до збільшення чутливості. Середні значення чутливості при різних температурах навколишнього середовища наведені нижче:

– від 5,02 кГц/% до 21,2 кГц/% ($T = 20\,°C,\ W = 30 \div 85\%$);

– від 5,7 кГц/% до 24,9 кГц/% ($T = 30\,°C,\ W = 30 \div 85\%$);

– від 7,2 кГц/% до 28,05 кГц/% ($T = 40\,°C,\ W = 30 \div 85\%$);

– від 8,3 кГц/% до 37,4 кГц/% ($T = 50\,°C,\ W = 30 \div 85\%$).

Для підтвердження теоретичних результатів та проведення експериментальних досліджень електричне коло автогенераторного засобу вологості з вологочутливим резистивним елементом (рис. 3.18) було досліджене в середовищі схемотехнічного моделювання *LTSpice*. Дослідження проводились

при різних температурах в діапазоні зміни опору вологочутливого резистивного елемента від $R_W(W) = 1750$ Ом до $R_W(W) = 2{,}1$ кОм, що відповідає збільшенню значення відносної вологості повітря від 30% до 90%.

Так на рисунку 3.21 наведено експериментальну залежність струму індуктивності від часу при температурі 20 °C та відносній вологості 35%, 60% та 90% відповідно.

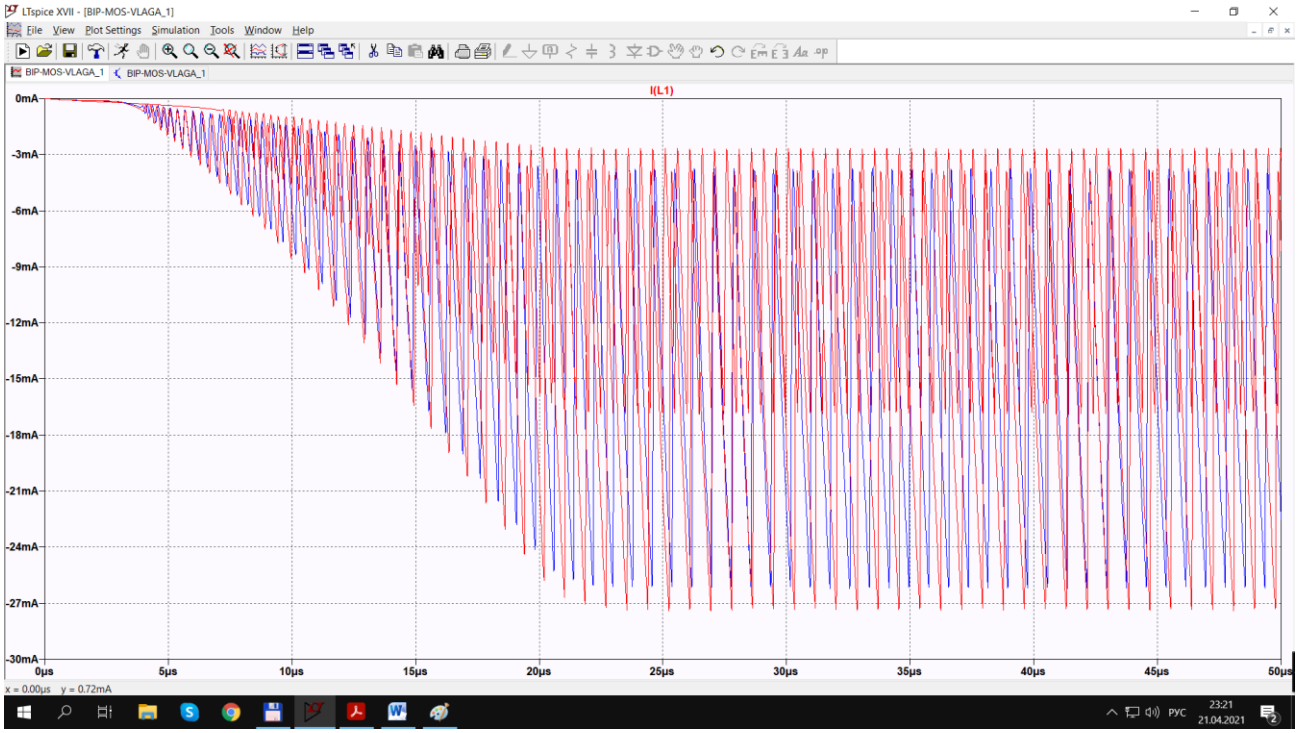


Рисунок 3.21 – Залежність струму індуктивності від часу при різних значеннях опору вологочутливого резистивного елемента при 20 °C та відносній вологості 35%, 60% та 90%

На рисунку 3.22 наведено промодельована вихідна змінна напруга мікроелектронного частотного перетворювача вологості при температурі 20 °C та відносній вологості 35%, 60%, 90%. Вихідна частота перетворювача при 35% складає 1176,5 кГц, при 60% складає 1265,8 кГц, а при 90% відносної вологості складає 2000 кГц.

На рисунку 3.23 наведено промодельована вихідна змінна напруга мікроелектронного частотного перетворювача вологості при температурі 50 °C та відносній вологості 35%, 60%, 85%.

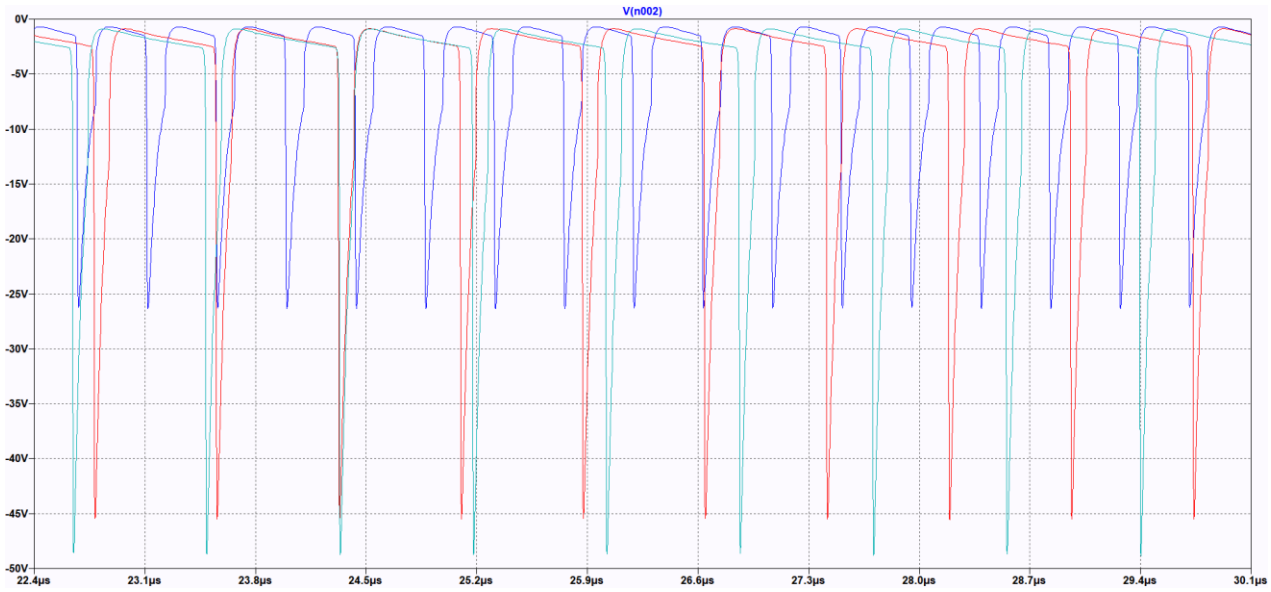


Рисунок 3.22 – Залежність вихідної змінної напруги в часі при різних значеннях опору вологочутливого резистивного елемента при температурі 20 °С та 35%, 60%, 90% відносній вологості

Вихідна частота перетворювача при 35% складає 1204,8 кГц, при 60% складає 1408,5 кГц, а при 85 % відносної вологості складає 2500 кГц.

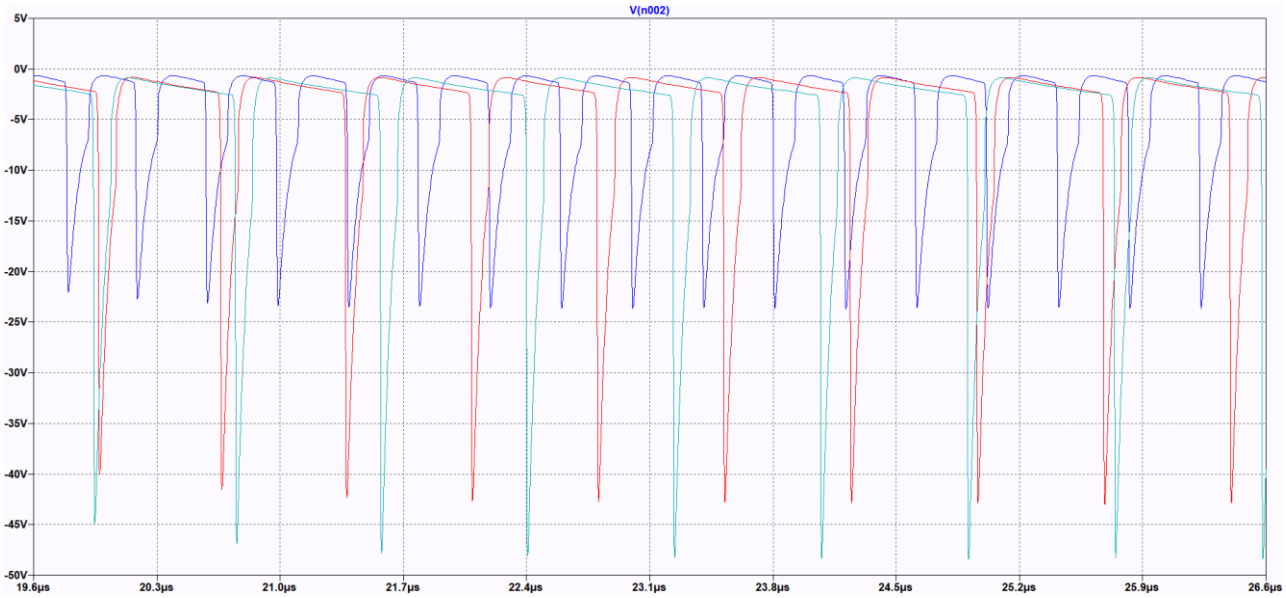


Рисунок 3.23 – Залежність вихідної змінної напруги в часі при різних значеннях опору вологочутливого резистивного елемента при температурі 50 °С та 35%, 60%, 85% відносній вологості

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень легко бачити, що на виході автогенераторного засобу для вимірювання відносної 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 3%.

3.4 Висновки до розділу 3

1. В результаті моделювання різних автогенераторних перетворювачів для вимірювання вологості в середовищі *Orcad Family Release* було визначено, що автогенераторні перетворювачі побудовані на основі структур з від'ємним опором володіють найбільшою чутливістю та стабільністю у порівнянні з розглянутими генераторами.

2. Розроблено моделі автогенераторних засобів для вимірювання відносної вологості повітря в яких на відміну від існуючих, врахований вплив відносної вологості повітря на частоту генерації автогенераторного засобу, що дало змогу отримати аналітичні залежності рівнянь чутливості та функції перетворення відносної вологості у частоту. Отримані залежності можуть бути використані для інженерного розрахунку автогенераторних засобів для вимірювання вологості.

3. Розроблено математичні моделі автогенераторних засобів для вимірювання відносної вологості повітря, які, на відміну від існуючих, виконані в часовому домені, що дає можливість визначати зміну величини струмів і напруг в часі, а також спостерігати форму вихідних коливань.

4. Розроблено автогенераторний засіб для вимірювання відносної вологості з вологочутливим ємнісним сенсором в якому при збільшенні відносної вологості повітря від 20 % до 99 % частота вихідного сигналу зменшується з 1055 кГц до 890 кГц. Чутливість автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря з вологочутливим ємнісним сенсором

при цьому збільшується від 6,09 кГц/% до 10,9 кГц/%, а амплітуда вихідного сигналу складає 2,5 В.

5. Розроблено автогенераторний засіб для вимірювання відносної вологості з вологочутливим резистивним сенсором. Експериментально встановлено, що збільшення температури навколишнього середовища при діапазоні відносної вологості W=30÷85% приводить до розширення діапазону генерації автогенераторного перетворювача вологості і до збільшення чутливості пристрою до вимірюваної величини – відносної вологості повітря. Діапазон генерації автогенераторного перетворювача вологості при температурі T=20 °C набуває значення 823 кГц (середнє значення чутливості – 16,18 кГц/%), а при температурі T=50 °C – 1323 кГц (середнє значення чутливості – 29,10 кГц/%). Отримані теоретичні та експериментальні дослідження мають гарний збіг, відносна похибка не перевищує 3%.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Визначення наукового та технічного рівня науково-дослідної роботи

Проаналізуємо рівень науково-дослідної роботи яка пов’язана з дослідженням автогенераторного засобу для вимірювання вологості. Виходячи з відповідних вимог НТП, доцільно орієнтуватися на час проведення НДДКР 3 роки (+1), при чому технічні показники результатів плануються на на рівні кращих світових зразків (0); наявність можливості отримання авторських свідоцтв на винахід - часткові можливості (0); а строк окупності витрат 3-4 роки (+2).

В таблиці 4.1 наведено критерії та бальна оцінка для визначення наукового та технічного рівня науково-дослідної роботи

Таблиця 4.1 – Критерії та бальна оцінка для визначення наукового, технічного та економічного рівня науково-дослідної роботи.

Критерії оцінки	Шкала критеріїв	Індекс оцінки
Час, необхідний для проведення НДР	2 роки і менше 3 роки 4 роки 5-6 років 7 років і більше	+2 +1 0 -1 -2
Технічні показники результатів розробки	Вище рівня кращих світових зразків На рівні кращих світових зразків Нижче рівня кращих світових зразків	+2 0 -2
Можливості отримання авторських свідоцтв на винахід	Впевненість в отриманні авторських свідоцтв Часткові можливості Можливості немає	+2 0 -1
Строк окупності витрат	2 роки і менше 3-4 роки 5 років 6-7 років 8 років і більше	+3 +2 0 -1 -2

В таблиці 4.2 наведено можливі результати оцінки теми НДДКР.

Таблиця 4.2 – Можливі результати оцінки теми НДДКР

Сума індексів	Оцінка теми
Позитивна(+)	Розробка є досить перспективною
Задовільна(0)	Розробка перспективна
Негативна(-)	Розробка не перспективна

Проаналізувавши дані таблиць 1.1 та 1.2, та підрахувавши загальну суму балів (+1+0+0+2=+3), робимо висновок, що дана науково-дослідна робота з дослідження автогенераторного засобу для вимірювання вологості є досить перспективною.

4.2 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу результатів НДДКР. В результаті оцінювання можна зробити висновок щодо напрямів (особливостей) організації подальшого впровадження результатів з врахуванням встановленого рейтингу.

Рекомендується здійснювати оцінювання комерційного потенціалу розробки за 12-ма критеріями, наведеними в таблиці 4.3 [51].

Таблиця 4.3 - Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Крите-рій	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 роботоздат-ність 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	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в	Експлуатаційні витрати на рівні експлуа-	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в
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 витрачати 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 використовують- ся 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 комерційного потенціалу розробки зведемо до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	експерт		
	1	2	3
	Бали, виставлені експертами:		
1. Технічна здійсненність концепції	2	2	1
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	2	2	1
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	2	1	2
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	1	2	2
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	2	3	3
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	2	2
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	3	3	3
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	2	3	2

9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	3	3	3
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	3	3	4
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	2	2	2
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	3	4
Сума балів	29	29	29
Середньоарифметична сума балів СБ	**29,0**		

За даними таблиці 4.4 зробимо висновок щодо рівня комерційного потенціалу дослідження. При цьому доцільно користуватися рекомендаціями, наведеними в таблиці 4.5 [51].

Таблиця 4.5 - Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ , розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 - 10	Низький
11 - 20	Нижче середнього
21 - 30	Середній
31 - 40	Вище середнього
41 - 48	Високий

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки становить 29,0 бала, що, згідно таблиці 4.5, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки середній).

4.3 Розрахунок витрат на проведення НДДКР з дослідження автогенераторного засобу для вимірювання вологості

В техніко-економічному обґрунтуванні представленому в першому розділі даної магістерської кваліфікаційної роботи було приблизно обґрунтовано доцільність проведення НДДКР. Тому в даному розділі будуть проведені більш

детальні розрахунки витрат на проведення НДДКР стосовно дослідження автогенераторного засобу для вимірювання вологості.

Для економічного розрахунку проведення НДДКР потрібно скласти кошторис витрат, який передбачає розрахунок визначених основних статей витрат.

Основна заробітна плата дослідників та розробників, яка розраховується за формулою [51]]:

$$З_о = \frac{M}{T_р} \cdot t \tag{4.1}$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

$T_р$ – число робочих днів в місяці, 22 дн;

t – число днів роботи розробника (дослідника).

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Основна заробітна плата дослідників та розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
1. Керівник проекту	11100,00	504,55	16	8072,73
2. Інженер-конструктор радіоелектронної апаратури	10150,00	461,36	10	4613,64
3. Лаборант	6060,00	275,45	10	2754,55
Разом				15440,91

Витрати на основну заробітну плату працівників (Зр), що здійснюють підготовку робочих місць необхідних для дослідження автогенераторного засобу для вимірювання вологості, підготовку та формування баз даних, підготовку та монтаж обладнання, макетів, виготовлення дослідних зразків тощо, розраховуються на основі норм часу, які необхідні для виконання даної роботи, за формулою [51]:

$$З_р = \sum_{1}^{n} t_і \cdot С_і \cdot К_с \text{ ,} \tag{4.2}$$

де t_i - норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;

n - число робіт по видах та розрядах;

$К_с$ - коефіцієнт співвідношень, який установлений в даний час Генеральною тарифною угодою між Урядом України і профспілками, $К_с$ = 1,5;

Ci - погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує відповідну роботу, грн./год.

$С_i$ визначається за формулою [51]:

$$С_i = \frac{М_м \cdot К_i}{Т_р \cdot Т_{зм}}, \quad (4.3)$$

де, $М_н$ – прожитковий мінімум працездатної особи, грн., $М_н$ = 2270,00 грн.;

$К_i$ - тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду;

$Т_р$ - число робочих днів в місяці, $Т_р$ = 22 дн;

$Т_{зм}$ - тривалість зміни, $Т_{зм}$ = 8 годин.

Проведені розрахунки винесемо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Витрати на основну заробітну плату працівників

Найменування робіт	Трудомісткість, нормо-годин	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
1. Розміщення обладнання	6,10	2	1,1	21,28	129,82
2. Контроль компонентів РЕА	1,50	5	1,7	32,89	49,33
3. Монтаж обладанання	4,20	3	1,35	26,12	109,70
4. Монтаж досліджуваних блоків	3,30	5	1,7	32,89	108,53
5. Налаштування системи	2,20	3	1,35	26,12	57,46
6. Підготовка робочих місць проектантів	4,10	2	1,1	21,28	87,25
Разом					542,09

Додаткова заробітна плата розробників, дослідників та працівників, які приймали участь в дослідженнях та розробці НДДКР розраховується як 10% від основної заробітної плати розробників та працівників:

$$З_д = З_о *\cdot 10 / 100\% \quad (4.3)$$

$З_д$ = (15440,91+ 542,09) *· 10 / 100 % = 1598,30 (грн.)

Нарахування на заробітну плату дослідників та працівників. Згідно діючого законодавства нарахування на заробітну плату складають 22% від суми основної та додаткової заробітної плати:

$$Н_з = (З_о + З_д) \cdot * 22\% / 100\% \quad (4.4)$$

$Н_з$ = (15440,91+ 542,09+ 1598,30) * 22% / 100% = 3867,89 (грн.)

Витрати на матеріали на даному етапі проведення НДДКР пов’язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп’ютерної техніки та створення експериментальних блоків і компонентів, тому дані витрати формуються на основі як офісних витратних матеріалів так і обмеженого переліку матеріалів.

Витрати на матеріали, що були використані при проведенні досліджень, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою [51]:

$$M = \sum_{1}^{n} H_i \cdot Ц_i \cdot K_i \quad , \quad (4.5)$$

де, - H_i - витрати матеріалу *і*-го найменування, кг;

$Ц_i$ - вартість матеріалу *і*-го найменування, грн./кг.;

K_i - коефіцієнт транспортних витрат, $К_і$ = 1,1;

n - кількість видів матеріалів,

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Витрати на основні матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Одиниця виміру	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість витраченого матеріалу, грн.
1. Папір канцелярський офісний	уп.	89,75	3	269,25
2. Компакт-диски (CD)	шт.	9,70	2	19,40
3. Офісна тека FIX-120	шт.	75,00	3	225,00
4. Канцелярські товари (ручки, файли, бокси)	компл.	120,00	4	480,00
5. Тонер для принтера	кг	6090,00	0,02	121,80
6. Плата друкована	шт.	100,00	1	100,00
Всього				1215,45

З врахуванням транспортних витрат вартість матеріалів складе

$$М = 1215,45 * 1,11 = 1349,15 \text{ грн.}$$

Витрати на комплектуючі (основне обладнання, емулятори, моделі, комплектуючі макетів), що були використані при дослідженні автогенераторного засобу для вимірювання вологості, розраховуються за формулою [52]:

$$Н = \sum_{1}^{n} Н_i \cdot Ц_i \cdot К_i \ , \qquad (4.6)$$

де: *Нi* - кількість комплектуючих *i*-го виду, шт.;

Ці - покупна ціна комплектуючих *i*-го виду, грн.;

K_i - коефіцієнт транспортних витрат, $К_i = 1,11$;

n - кількість видів матеріалів.

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Витрати на комплектуючі для компонентів для НДДКР

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
PIC18F4550	1	85,00	85,00
Генератор кварцевий	1	62,00	62,00
Блок живлення	1	125,00	125,00
Дисплей LCD WH1602C-YGH-CTK	1	210,00	210,00
Система термостабілізації	1	80,00	80,00
Інші комплектуючі	1	211,00	211,00
Всього			773,00

Витрати на комплектуючі з урахуванням транспортних витрат складають:

$$Н = 773,00 *\cdot 1,11 = 858,03 \text{ (грн.)}$$

Амортизація обладнання для проведення досліджень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню можуть бути розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_в} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.7)$$

де $Ц_б$ – балансова вартість обладнання, приміщень тощо, які використовувались для розробки нового технічного рішення, грн.;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, приміщень під час розробки, місяців;

$T_в$ – строк корисного використання обладнання, приміщень тощо, років.

Проведені розрахунки необхідно звести до таблиці.

Таблиця 4.10 - Величина амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, міс.	Величина амортиза-ційних відрахувань, грн
Комп'ютеризована система проектування	21100,00	4	1	439,58
Програмне забезпечення	11322,00	3	1	314,50
Офісна оргтехніка	10564,00	5	1	176,07
Автоматизоване робоче місце проектувальника	8600,00	5	1	143,33
Приміщення лабораторії	265000,00	25	1	883,33
Всього				1956,82

Витрати на силову електроенергію на проведення досліджень розраховують за формулою [51]:

$$В_е = В \cdot П \cdot Ф \cdot К_п, \quad (4.8)$$

де, *В* – вартість 1 кВт-години електроенергії, *В* = 3,5 грн./кВт –година;

П – встановлена потужність обладнання, кВт.;

Ф – фактична кількість годин роботи обладнання, годин. ;

$К_п$ – коефіцієнт використання потужності.

Всі проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.11 – Витрати на електроенергію при проведенні досліджень

Найменування обладнання	Кількість годин роботи обладнання, год.	Встановлена потужність, кВт	Коефіцієнт використання потужності	Величина оплати
Комп'ютеризована система проектування	100	0,86	0,95	285,95
Офісна оргтехніка	30	1,25	0,95	124,69
Автоматизоване робоче місце	80	0,12	0,95	31,92
Дослідна система	25	0,05	0,95	4,16
Всього				446,71

Інші витрати охоплюють: загальновиробничі витрати, адміністративні витрати, витрати на відрядження, матеріали, окремі непередбачені витрати, зв’язок, витрати на інтернет-послуги тощо.

Інші витрати доцільно приймати як 200...300% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників. Величина інших витрат складе:

$$І = (15440,91 + 542,09) * 200\% / 100\% = 31966,00 \text{ (грн.)}$$

Загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи.

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$В = 15440,91+542,09+1598,30+3867,89+1215,45+858,03+1956,82+446,71+ +31966,00=57892,20 \text{ (грн.)}$$

Загальна (повна) вартість всієї НДДКР визначається за формулою:

$$B_{заг} = \frac{B}{\alpha}, \tag{4.9}$$

де α - частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даної НДДКР, у відносних одиницях.

$$B_{заг} = \frac{B}{\alpha} = \frac{57892,20}{0,9} = 64324,67 \text{, грн.}$$

Прогнозування загальних витрат ЗВ на виконання та впровадження результатів виконаної НДДКР здійснюється за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\beta}, \tag{4.10}$$

де β - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної НДДКР (від 0,1… до 0,9).

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\beta} = \frac{64324,67}{0,9} = 71471,85 \text{, грн.}$$

4.4 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

В умовах ринку узагальнюючим позитивним результатом, що його отримує підприємство (організація) від впровадження результатів тієї чи іншої розробки, є збільшення чистого прибутку підприємства (організації). Зростання чистого прибутку ми можемо оцінити у теперішній вартості грошей.

Саме зростання чистого прибутку забезпечить підприємству (організації) надходження додаткових коштів, які дозволять покращити фінансові результати діяльності та виплатити кредити (якщо вони потрібні для впровадження результатів розробки).

При проведенні даної розробки не можливо прямо оцінити зростання чистого прибутку підприємства від впровадження результатів наукової розробки. У цьому випадку збільшення чистого прибутку підприємства для

кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, розраховується за формулою [53]:

$$\Delta П_i = \sum (\Delta Ц_0 \cdot N + Ц_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - \frac{\upsilon}{100}) \qquad (4.11)$$

де $\Delta Ц_o$ - покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником може бути ціна одиниці нової розробки;

N - основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

ΔN - покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки;

$Ц_o$ - основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

n - кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки;

λ - коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. У 2021 р. ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт λ = 0,8333.

ρ - коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати р = 0,2...0,3;

υ - ставка податку на прибуток. У 2021 році υ =18%.

В результаті впровадження результатів наукової розробки покращується якість нашої розробки, що дозволяє підвищити ціну її реалізації на 100 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року - на 100 шт., протягом другого року - ще на 150 шт., протягом третього року - ще на 200 шт., а протягом четвертого року – на 100 шт. Орієнтовно: реалізація аналогічного пристрою до впровадження результатів наукової розробки складала 6200 шт., а її ціна – 2680,00 грн.

Спрогнозуємо збільшення чистого прибутку підприємства від впровадження результатів наукової розробки у кожному році відносно базового. Збільшення чистого прибутку підприємства протягом першого року складе

$$\Delta П_1 = [100 \cdot 6200 + (2680 + 100) \cdot 100] \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - \frac{18}{100}) = 153402,00 \text{ (грн)}.$$

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом другого року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе

$$\Delta П_2 = [100 \cdot 6200 + (2680 + 100) \cdot (100 + 150)] \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - \frac{18}{100}) = 224637,00 \text{ (грн)}.$$

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом третього року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе

$$\Delta П_3 = [100 \cdot 6200 + (2680 + 100) \cdot (100 + 150 + 200)] \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - \frac{18}{100}) = 319616,00 \text{ (грн)}.$$

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом четвертого року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе

$$\Delta П_4 = [100 \cdot 6200 + (2680 + 100) \cdot (100 + 150 + 200 + 100)] \cdot 0,8333 \cdot$$
$$\cdot 0,25 \cdot (1 - \frac{18}{100}) = 367106,00 \text{ (грн)}.$$

4.5 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Основними показниками, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Розрахунок ефективності вкладених інвестицій передбачає проведення таких робіт:

1. Розраховують теперішню вартість інвестицій, що вкладаються в наукову розробку. Такою вартістю ми можемо вважати прогнозовану величину загальних витрат ЗВ=**71471,85** грн. на виконання та впровадження результатів НДДКР.
2. Розраховують очікуване збільшення прибутку, що його отримає підприємство (організація) від впровадження результатів наукової розробки, для кожного із років, починаючи з першого року впровадження.
3. Для спрощення подальших розрахунків будують вісь часу, на яку наносять всі платежі (інвестиції та прибутки), що мають місце під час виконання науково-дослідної роботи та впровадження її результатів.

   Платежі показуються у ті терміни, коли вони здійснюються.

   Проведемо відповідні розрахунки.

У першому році підприємство отримає збільшення чистого прибутку на **153402** грн відносно базового року.

У другому році - збільшення чистого прибутку на **224637** грн (відносно базового року).

У третьому році - збільшення чистого прибутку на **319616** грн (відносно базового року),

У четвертому - на **367106** грн (відносно базового року).

Тоді рисунок, що характеризує рух платежів (інвестицій та додаткових прибутків) буде мати вигляд, наведений на рисунку 4.1.

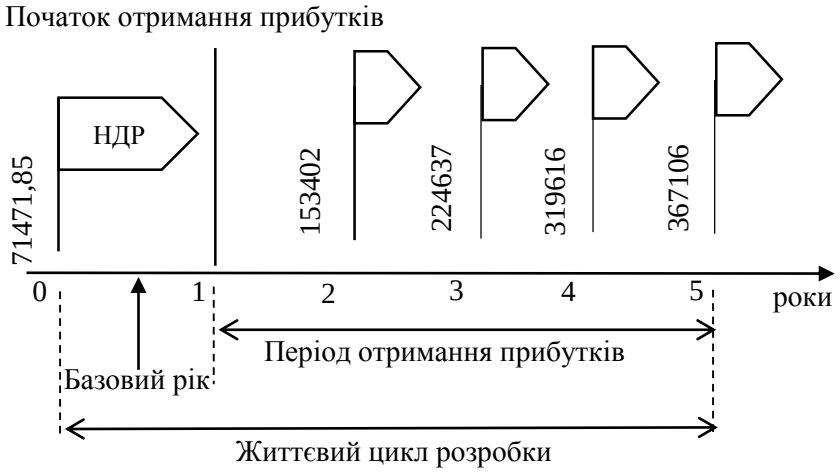


Рисунок 4.1 - Вісь часу з фіксацією платежів, що мають місце під час розробки та впровадження результатів НДДКР

4. Розраховують абсолютну ефективність вкладених інвестицій $E_{абс}$. Для цього використаємо формулу [51]:

$$E_{абс} = (ПП - PV), \tag{4.12}$$

де *ПП* - приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн;

PV - теперішня вартість інвестицій *PV = ЗВ*, грн.

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків *ПП* розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_{1}^{T} \frac{\Delta П_i}{(1+\tau)^t}, \tag{4.13}$$

де *ΔП* - збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн;

T - період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки;

τ - ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,12;

t - період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки „0”.

$$ПП = \frac{153402}{(1+0,12)^2} + \frac{224637}{(1+0,12)^3} + \frac{319616}{(1+0,12)^4} + \frac{367106}{(1+0,12)^5} =$$
$$= 693611,00$$

Розрахуємо абсолютну ефективність інвестицій, вкладених у реалізацію проекту. Отримаємо:

$$E_{абс} = (693611 - 71472) = 622139 \text{ грн.}$$

Оскільки $E_{абс} > 0$, то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР може бути доцільним.

Результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даного проекту (роботи).

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій $E_в$. Для цього використаємо формулу:

$$E_в = \sqrt[T]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1, \qquad (4.14)$$

де $E_{абс}$ - абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн;

PV - теперішня вартість інвестицій *PV = ЗВ*, грн;

T - життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_в = \sqrt[T]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 = \sqrt[5]{1 + \frac{622139,00}{71472,00}} - 1 = 0,58$$

Розраховану величину $E_в$ порівнюємо з мінімальною ставкою дисконтування, яка визначає ту мінімальну дохідність, нижче за яку інвестиції вкладатися не будуть. У загальному вигляді мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \tag{4.15}$$

де d - середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2021 році в Україні (0,08...0,12);

f - показник, що характеризує ризикованість вкладень (0,05...0,1).

$$\tau = d + f = 0,1 + 0,1 = 0,2.$$

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій.

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового пректу інвестицій $T_{ок}$ можна розрахувати за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_в}.$$

$$T_{ок} = \frac{1}{E_в} = \frac{1}{0,58} = 1,74 \text{ року}.$$

Якщо $T_{ок}$ < 3...5-ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним.

4.6 Висновки до розділу **4**

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки становить 29,0 балів, що свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки середній).

Основними показниками, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності. Абсолютна ефективність вкладених коштів для даної розробки складе 622139,00 грн., а відносна ефективність забезпечить прибутковість в межах 58%, що більше мінімальної яка складає 20%.

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{ок}$=1,74 року, що менше нормативного терміну.

Враховуючи наведені показники діяльності можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, що спрямовані на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності.

Значення охорони праці полягає в тому, що саме вона є головною умовою збереження здоров'я та захисту людини від впливу шкідливих чинників виробничого середовища. Охорона праці як невід'ємна складова створення безпеки життєдіяльності людини в умовах виробництва поширюється на всі підприємства, установи і організації незалежно від форм їх власності та видів діяльності, на усіх громадян, які працюють, тощо. Тому за порушення організації охорони праці в однаковій мірі несуть відповідальність перед законом як роботодавець (власник), так і працівник (виконавець).

Виконання кваліфікаційної роботи на тему «Розробка автогенераторного засобу для вимірювання вологості» відбувалося в приміщені, яке обладнане комп'ютеризованими робочими місцями. На виконавця, згідно ГОСТ 12.0.003-74, можуть мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [54]:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень статичної електрики; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; пряма і відбита блисткість; підвищена яскравість; понижена контрастність; недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: розумове перевантаження; перенапруга аналізаторів; статичне перевантаження.

У відповідності до визначених факторів розробляємо технічні рішення щодо безпечного виконання роботи, а також з гігієни праці та виробничої санітарії [54].

5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

5.1.1. Обладнання приміщення та робочого місця

Робоче місце для виконання робіт у сидячому положенні повинно відповідати вимогам НПАОП 0.00-7.15-18, ДСТУ 8604:2015, ДСанПіН 3.3.2.007-98 та низки інших, а також вимогам технічної естетики та ергономіки.

Основні вимоги до умов праці виконавця:

– площа приміщення повинна бути не менше 6,0 м² на 1 робоче місце; робочі місця повинні бути розташовані на відстані не менше ніж 1 м від стіни з вікном, і 1,4 м від звичайної стіни; відстань між бічними поверхнями комп‘ютерів має бути не меншою за 1,2 м; відстань між тильною поверхнею одного комп‘ютера та екраном іншого не повинна бути меншою 2,5м;

– відповідні робочі місця заборонено облаштовувати у підвальних або цокольних приміщеннях будинків. В обладнанні приміщень забороняється використання полімерних матеріалів (деревинно-стружкові плити, шпалери, що миються, рулонні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик тощо), що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини. Покриття підлоги повинно бути матовим, а поверхня – рівною, неслизькою, з антистатичними властивостями;

– у приміщеннях, де здійснюється робота з комп’ютерами, щодня має проводитися вологе прибирання з метою недопущення запиленості підлоги та меблів. Крім того, має бути обладнана кімната психологічного розвантаження;

– конструкція робочого столу та крісла користувача персонального комп’ютера має забезпечити підтримання оптимальної робочої пози та забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання (дисплея, клавіатури, принтера) і документів;

– приміщення для роботи з персональними комп’ютерами мають бути обладнані системами опалення, кондиціонування повітря, або припливно-витяжною вентиляцією. У приміщеннях на робочих місцях мають забезпечуватись оптимальні значення параметрів мікроклімату: температура

повітря повинна становити 22–25°С, відносна вологість повітря — 40–60%, швидкість руху повітря — не більше 0,1 м/с. При недотриманні вказаних показників мікроклімату в офісних приміщеннях робочий день для робітників повинен бути скорочений мінімум на 10%.

Приміщення, в якому знаходиться робоче місце розробника має загальну площу 16,65 м^2, і висотою стелі 3,2 м. У приміщенні знаходиться 2 робочих місця обладнаних ПК (рис.5.1).

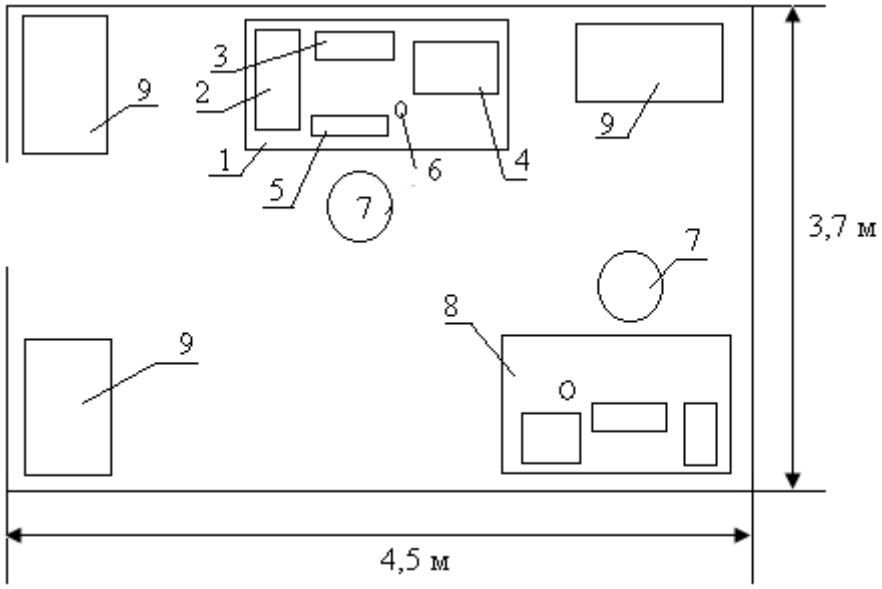


Рисунок 5.1 – Схема робочого приміщення

Умовні позначення: 1 - стіл; 2 – комп’ютер;3 - монітор; 4 - сканер; принтер; 5 - клавіатура; 6 - мишка; 7 - стілець; 8 – інше робоче місце; 9 – меблі

Площа даного приміщення становить 16,65 м^2 , відповідно на одного працівника припадає 8,3 м^2, що відповідає допустимій нормі. Об’єм даного приміщення становить 53,3 м^3 , відповідно на одного працівника припадає 26,6 м^3, що також відповідає допустимій нормі.

Основні вимоги до робочої пози працівника наступні:

– очі працівника повинні знаходитись на відстані 45-60 см від екрана комп’ютера, до того ж на 15-20 см вище його центру;

– пальці повинні бути розташовані нижче рівня зап’ястя, а воно – нижче рівнів ліктів. Тоді пальці володітимуть найбільшою свободою руху;

– плечі працівника повинні бути опущені та розслаблені, щоб і м’язи руки могли бути розслаблені;

– сидіти треба, випрямивши спину, а спинка стільця повинна відповідати природному вигину спини та нижньої частини тулуба людини.

Для підтримання високої працездатності та профілактики професійних захворювань необхідно дотримуватись режимів праці та відпочинку. Регламентовані 5-хвилинні перерви (крім основної на обід) потрібно влаштовувати після кожної години роботи. Під час цих перерв доцільно виконувати спеціальні вправи для зняття втоми очей та підтримання загального м’язового тонусу [55].

Вимоги безпеки перед початком роботи:

– увімкнути систему кондиціювання в приміщенні;

– перевірити надійність встановлення апаратури на робочому столі. Повернути монітор так, щоб було зручно дивитися на екран - під прямим кутом (а не збоку) і трохи зверху вниз, при цьому екран має бути трохи нахиленим, нижній його край ближче до оператора;

– перевірити загальний стан апаратури, перевірити справність електропроводки, з'єднувальних шнурів, штепсельних вилок, розеток, заземлення захисного екрана;

– відрегулювати освітленість робочого місця;

– відрегулювати та зафіксувати висоту крісла, зручний для користувача нахил його спинки;

– приєднати до системного блоку необхідну апаратуру. Усі кабелі, що з’єднують системний блок з іншими пристроями, слід вставляти та виймати при вимкненому комп'ютері;

– ввімкнути апаратуру комп'ютера вимикачами на корпусах в послідовності: монітор, системний блок, принтер (якщо передбачається друкування);

– відрегулювати яскравість свічення монітора, мінімальний розмір світної точки, фокусування, контрастність. Не слід робити зображення надто яскравим, щоб не втомлювати очей.

Вимоги безпеки під час виконання роботи:

– необхідно стійко розташовувати клавіатуру на робочому столі, не опускати її хитання. Під час роботи на клавіатурі сидіти прямо, не напружуватися;

– для уникнення несприятливого впливу на користувача пристроїв типу «миша» належить забезпечувати вільну велику поверхню столу для переміщення миші і зручного упору ліктьового суглоба;

– не дозволяються сторонні розмови, подразнюючі шуми;

– періодично при вимкненому комп'ютері прибирати ледь змоченою мильним розчином бавовняною ганчіркою порох з поверхонь апаратури. Екран ВДТ та захисний екран протирають ганчіркою, змоченою у спирті. Не дозволяється використовувати рідинні або аерозольні засоби чищення поверхонь комп'ютера [55].

Забороняється:

– класти будь-яку предмети на апаратуру комп'ютера;

– закривати будь-чим вентиляційні отвори апаратури, що може призвести до її перегрівання і виходу з ладу.

Для зняття статичної електрики рекомендується час від часу доторкатися до металевих поверхонь.

5.1.2. Електробезпека приміщення

У приміщенні, де виконувалася робота для живлення обладнання та системи освітлення використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220. Приміщення, згідно з ПУЕ відноситься до приміщення без підвищеної небезпеки (сухе, мало запорошене, з

нормальною температурою повітря, ізольованими підлогами і малим числом заземлених приладів).

Електротехнічне устаткування: апаратури, кабелі, розподільні пристрої всіх видів і напруг по своїх номінальних параметрах задовольняє умовам роботи як при нормальних режимах, так і при коротких замиканнях, перенапругах, перевантаженнях [55].

Для забезпечення безпеки установлюються 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.

Згідно із ПУЕ в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огородженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ – спецвзуття та рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

Відповідальність за організацію безпечної експлуатації електроустановок покладена на роботодавця, який повинен:

– призначити відповідального за справний стан і безпечну експлуатацію електроустановок; створити та укомплектувати електротехнічну службу з числа осіб, які досягли 18-річного віку, які мають відповідну освіту, пройшли медичний огляд і не мають протипоказань;

– розробити і затвердити посадові інструкції працівників та інструкції з безпечного виконання робіт;

– забезпечити навчання і перевірку знань працівників, своєчасний огляд електроустановок та проведення профілактичних, протиаварійних та приймально-здавальних випробувань.

Для безпосереднього виконання функцій з організації експлуатації електроустановок призначається особа, відповідальна за електрогосподарство.

5.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат (метеорологічні умови) виробничого середовища суттєво впливає на стан організму працівника, його працездатність протягом робочого дня, зміни. Показники температури , відносної вологості, швидкості руху повітря, теплового випромінювання нагрітих поверхонь характеризують клімат внутрішнього середовища виробничого приміщення [55].

В процесі трудової діяльності людина перебуває у тепловій взаємодії з виробничим середовищем. За енерговитратами розробка автогенераторного засобу для вимірювання вологості згідно Гігієнічної класифікація праці відноситься до категорії І б. Нормовані значення параметрів мікроклімату для цієї категорії у теплий період року наведені в табл.5.1 (відповідно до 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 забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату в приміщенні передбачено:

1. Для обігріву будівлі використовується централізована парова система опалення.

2. Для забезпечення допустимих метеорологічних умов праці в приміщенні використовується система припливно-витяжної вентиляції.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

У складі атмосферного повітря міститься 78% азоту, 21% кисню,0,03% вуглекислого газу, вуглецю, озону тощо. В закритому приміщенні склад повітря змінюється в той чи інший бік. Серед інгредієнтів забруднення повітряного середовища (шкідливі речовини) – тисячі хімічних сполук у вигляді аерозолів (твердих, рідких) чи газоподібному вигляді [55].

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично-допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м^3. Основними забруднювачами повітря робочої зони є комп'ютерні пристрої, системи автоматики та оператори, що працюють з обладнанням. Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин для повітря робочої зони наведені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони.

Назва речовини	ГДК, мг/м^3		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Озон	0,16	0,03	1
Вуглекислий газ (CO_2)	3	1	4
Формальдегід	0,035	0,003	2
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Повітря, що містить негативні аероіони, є своєрідним екраном, що відображає випромінювання позитивних іонів від дисплеїв, телевізорів та іншої оргтехніки.

Нормативні рівні іонізації повітря у виробничих та громадських приміщеннях наведені в санітарних правилах і нормативах СанПіН 2.2.4.1294-03. Згідно з цим документом регламентують: мінімально допустимий рівень, максимально допустимий рівень, коефіцієнт уніполярності (табл..5.3).

Таблиця 5.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 $см^3$	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Для забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється видалення шкідливих речовин, що потрапляють у повітря робочої зони, за рахунок механічної вентиляції. Кількість пилу, що наявна в приміщенні, зменшується за допомогою систематичного вологого прибирання.

5.2.3. Виробниче освітлення

Одним із чинників, які визначають сприятливі умови праці, є раціональне освітлення робочої зони і робочих місць. Якщо освітлення виробничих приміщень правильно розраховане і виконане, очі працівника протягом тривалого часу зберігатимуть здатність добре розрізняти предмети і знаряддя праці, не втомлюючись. Це сприяє зниженню виробничого травматизму і професійного захворювання очей [55].

Джерела світла, такі як світильники і вікна, які дають віддзеркалення від поверхні екрану, значно погіршують точність знаків і тягнуть за собою перешкоди фізіологічного характеру, які можуть виразитися в значній напрузі, особливо при тривалій роботі. Віддзеркалення, включаючи віддзеркалення від вторинних джерел світла, повинне бути зведено до мінімуму.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО при природному та сумісному освітленні (згідно ДБН В.2.5-28:2018) зазначені у таблиці 5.4:

Таблиця 5.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнювання	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, $e_н$, %			
						Штучне освітлення		Природнє освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Високої точності	0,3 -0,5	III	г	великий	світлий	700	300	5	2	3	1,2

Для забезпечення достатнього освітлення систематично здійснюється чищення віконного скла та очищення ламп від пилу, а також систематична заміна світильників, що перегоріли.

5.2.4. Виробничий шум

Виробничий шум — це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що виникають у повітряному середовищі і безпосередньо впливають на працездатність. Джерелами шуму є: всі види транспорту, насоси, промислові об’єкти, пневматичні та електричні інструменти, верстати, будівельна техніка тощо. З шумом пов’язані деякі технологічні процеси — клепання, карбування, обрубка, вибивка лиття, штамповка, робота на ткацьких верстатах, випробування авіадвигунів тощо [55].

Допустимі рівні звукового тиску та рівні звуку L_A в приміщенні, де виконується робота, наведені у таблиці 5.5. (згідно ДСН 3.3.6.037-99).

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньогеометричними частинами (Гц)									Допуст-мий 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 в приміщенні передбачено використання звукопоглинаючих матеріалів, пасивного охолодження комп'ютерів, а також раціонального розташування виробничого обладнання.

5.2.5 Виробничі випромінювання

Виконання роботи із використанням ПК сприяє появі електромагнітного поля на робочому місці. Інтенсивність ЕМП у довільній точці спостереження залежить від цілого ряду чинників: від параметрів випромінювача (потужності випромінювання, довжини хвилі, відстані, діаграми спрямованості випромінювача), від ступеня впливу середовища поширення ЕМП, а також від розподілу поля поблизу точки спостереження, тобто від місцевих предметів.

Ступінь впливу електромагнітних випромінювань від ПК на організм працівника залежить від діапазону частот, тривалості опромінення, характеру опромінення, режиму опромінення, розмірів поверхні тіла, яке опромінюється, та індивідуальних особливостей організму [55].

Гранично допустимі значення напруженості електричного і магнітного полів промислової частоти в залежності від часу їх впливу встановлюються СанПіН 2.2.4.1191-03 «Електромагнітні поля у виробничих умовах». Згідно з цим нормативним документом перебування в ЕП промислової частоти напруженістю до 5 кВ/м допускається протягом усього робочого дня. Гранично допустимі рівні електромагнітного поля радіочастотного діапазону для працівника становлять $E_{гдр} = 25$ В/м та $B_{гдр} = 250$ нТл.

Для зменшення впливу електромагнітного випромінювання на розробника слід дотримуватися раціонального режиму роботи та відпочинку.

5.2.6 Психофізіологічні фактори

Оцінка психофізіологічних факторів під час виконання роботи здійснюється відповідно до Гігієнічної класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та

напруженості трудового процесу.

Загальні енергозатрати організму: до 174 Вт.

Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну): до 40 000.

Робоча поза: вільна зручна поза, можливість зміни пози («сидячи – стоячи») за бажанням працівника; перебування в позі «стоячи» до 40% часу зміни.

Нахили тулуба (вимушені, більше 30°), кількість за зміну: до 50 раз.

Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

–зміст роботи – творча діяльність, що вимагає вирішення складних завдань за відсутності алгоритму;

–сприймання інформації та їх оцінка – сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальними значеннями. Заключна оцінка фактичних значень параметрів;

–розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, виконання завдання та його перевірка.

Сенсорні навантаження:

–зосередження (%за зміну) – до 5-75%;

–щільність сигналів (звукові за1 год) – до 150;

–навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80 %;

–спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) – 4-6год.

–навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 16 до 20.

Емоційне навантаження:

ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

Режим праці:

– тривалість робочого дня – більше 8 год;

– змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

За зазначеними показниками важкості та напруженості праці, робота, яка виконується належить до допустимого класу умов праці (напруженість праці середнього ступеня).

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи автогенераторного засобу для вимірювання вологості в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

В радіоелектронній апаратурі іонізуючі випромінювання, викликають зворотні і незворотні процеси, внаслідок яких можуть відбуватися порушення роботи електричних елементів схеми, що призводять до виходу з ладу апаратури. Так, проходячи через елементи РЕА, потік гамма-випромінювань створює в них вільні носії електричних зарядів, в результаті переміщення яких виникає помилковий імпульс, який призводить до спрацьовування автогенераторного засобу вимірювання вологості. При великих дозах випромінювання втрачають працездатність комплектуючі елементів вимірювача вологості. Опромінення у транзисторів змінює обернений струм і коефіцієнт підсилення, у конденсаторах знижує напругу пробою та опір стікання, змінюється провідність і внутрішній нагрів; руйнується електрична ізоляція дротів з полімерних матеріалів. У органічних ізоляційних і діектричних матеріалах змінюються такі параметри, як: електрична провідність, діелектрична проникність і тангенс кута втрат [55].

Одним з загрозливих чинників для автогенераторного засобу є електромагнітний імпульс (ЕМІ). Уражаюча дія ЕМІ в приземній області й на землі пов'язана з акумулюванням його енергії довгими металевими предметами, рамними і каркасними конструкціями, антенами, лініями електропередачі та зв'язку, в них виникають сильні наведені струми, які руйнують підключене електронне та інше чутливе устаткування. У районі дії ЕМІ безпосередній контакт людини зі струмопровідними предметами небезпечний.

ЕМІ уражає радіоелектронну і радіотехнічну апаратуру. В провідниках індукуються високі напруги і струми, які можуть призвести до постійних або тимчасових пошкоджень ізоляції кабелів, відключення реле і пошкодження елементів зв'язку, магнітних запам'ятовуючих пристроїв у ЕОМ і системах передачі даних тощо. Найбільш уразливими елементами обладнання є напівпровідникові прилади — транзистори, діоди, кремнієві випрямлячі, інтегруючі ланцюги, цифрові процесори, управляючі й контрольні прилади. Чутливі до пошкодження ЕМІ транзистори звукової частоти, перемикаючі транзистори, інтегруючі ланцюги та ін.

5.3.1 Дослідження безпеки роботи вимірювача вологості в умовах дії іонізуючих випромінювань

Приймаючи до уваги елементну базу, що використовується для реалізації розроблювального автогенераторного засобу вимірювання вологості, складається таблиця потужностей експозиційної дози опромінення для кожного елемента $P_{зв.і}$, що викликають початок зворотних змін (таблиця 5.6).

Таблиця 5.6 - Максимально допустимі потужності дози γ – випромінювання.

Елементи автогенераторного засобу	**$P_{гр,і}$ (Р/год)**	**$P_{гр}$ (Р/год)**
Транзистори КТ3102В	10^5	10^4
Діоди загального призначення D1-D8	10^5	
Конденсатори електролітичні SMD1206	10^6	
Резистори SMD1206	10^6	
Мікросхеми PIC16F877	10^4	
Сенсорна панель	10^4	

За мінімальним значенням $p_{гр}$ (табл. 5.6) межа безпеки роботи автогенераторного засобу вимірювання вологості складає $p_{гр} = 10^4$ (Р/год).

Для оцінки безпеки роботи автогенераторного засобу вимірювання вологості визначається граничне значення потужності дози гамма-випромінювання ($р_{гр}$) за наступною формулою:

$$Р_{гр}=К\times р_{гр}\times К_{пос}\ , \qquad (5.1)$$

де: К – коефіцієнт надійності, К = 0,9..0,95;

$р_{гр}$ – рівень радіації, що відповідає початку зворотних зміну найменш стійкого елемента;

$К_{пос}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($К_{пос}$ = 4),

$$Р_{гр} = 0{,}94 \times 10^4 \times 4 = 3{,}76 \times 10^4 \text{ (Р/год)},$$

З вище наведених розрахунків можна зробити висновок, що безпека роботи автогенераторного засобу вимірювання вологості в умовах дії іонізуючих випромінювань буде забезпечуватись, якщо радіація в умовах експлуатації не перевищуватиме

$$Р_{гр} = 3{,}76 \times 10^4 \text{ (Р/год)}.$$

Розрахуємо допустимо максимальний час роботи автогенераторного засобу вимірювання вологості в умовах дії іонізуючих випромінювань:

$$Д_м = \frac{2P_{гр}(\sqrt{t_К^{\,2}} - \sqrt{t_П^{\,2}})}{1}\ , \qquad (5.2)$$

де: $\sqrt{t_П^{\,2}}$, дорівнює 1;

$Д_м$ – дорівнює 10^3;

$t_{доп} = 13{,}41 \times 10^3$ (год).

Отже час допустимої роботи автогенераторного засобу вимірювання вологості в умовах впливу іонізуючих випромінювань достатній і може перевищувати час морального старіння для таких приладів.

5.3.2 Дослідження безпеки роботи автогенераторного засобу вимірювача вологості в умовах дії електромагнітного імпульсу

В якості показника стійкості приладів або їх окремих елементів до впливу ЕМІ можна прийняти коефіцієнт безпеки, що визначається відношенням гранично допустимої напруги (струму) до наведеної, тобто створеної ЕМІ.

Безпека вимірювача вологості в умовах дії електромагнітного випромінювання характеризується коефіцієнтом безпечної роботи $К_б$, який визначається по

$$К_б = 20\lg\frac{U_д}{U_{в(г)}} \geq 40[дБ] \quad , \qquad (5.3)$$

де $U_д$ – допустимі коливання напруги живлення системи;

$U_{в(г)}$ – напруга живлення вертикальної (горизонтальної) наводок внаслідок дії електромагнітного випромінювання.

$$U_д=U_ж+U_ж/100*N, \qquad (5.4)$$

де $U_ж$ = 5 В – наруга живлення автогенераторного засобу вимірювання вологості;
N = 10% - коливання напруги живлення.

Підставивши значення для $U_ж$ і N в (5.4), одержимо:

$$U_д=5+5/100*10= 5,5 \text{ (В)}.$$

Визначимо *Uв*, для чого формулу (4.5) приведемо до наступного вигляду:

$$\lg U_д/U_в=2, \qquad (5.5)$$

звідки $U_в$= 0,6025 В.

З формули (4.8) визначимо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля $Е_г$:

$$U_в=Е_г*l, \qquad (5.6)$$

де l=0,63 м – максимальна довжина струмоведучих частин. Тоді:

$$Е_г=0,6025/0,63=20,08 \text{ В/м}$$

Вертикальна складова напруженості електромагнітного поля $E_в$, визначається з формули:

$$E_г=10^{-3}*E_в, \quad (5.7)$$

звідки

$$E_в=20,08/10^{-3}=20080 \text{ В/м}.$$

Отже, октавний еквалайзер буде стабільно працювати при умові, що вертикальна і горизонтальна складові напруженості електромагнітного поля не будуть перевищувати значень $E_в$=20080 В/м і $E_г$=20,08 В/м.

5.4 Розробка заходів по підвищенню безпечної роботи автогенераторного засобу вимірювача вологості в умовах надзвичайних ситуацій

Найбільш ефективним способом підвищення стійкості роботи РЕА є екранування системи або її елементів. Тому проведемо розрахунок екранування. Визначається перехідне затуханні енергії електричного поля стальним екраном:

$$A=К_{бном}-К_{бмін}, \quad (5.8)$$

де $К_{бном}$ – номінальний коефіцієнт безпеки ($К_{бном}$ - 40дБ);

$Кб_{мін}$ – мінімальний коефіцієнт безпеки, отриманий під час розрахунків.

$$A=40+36,6=76,6(\text{дБ}).$$

Товщину захисного екрану знаходимо за формулою:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}} \ (см), \quad (5.9)$$

де А – перехідне затухання екрану;

f – найбільш характерна частота (15 кГц);

$$\text{t} = \frac{76,6}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,104(\text{см}).$$

Підвищення безпеки роботи автогенераторного засобу вимірювання вологості можна досягти шляхом посилення найбільш слабких елементів і ділянок автогенераторного засобу вимірювання вологості, а також завчасним

проведенням комплексу інженерно-технічних, технологічних та організаційних заходів, які спрямовані на максимальне зниження дії вражаючих факторів.

В роботі було проведено дослідження безпеки роботи автогенераторного засобу вимірювання вологості в умовах дії загрозливих чинників НС та приведена розробка заходів по підвищенню безпеки роботи пристрою в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.

Отже у розділі були розглянуті причини виникнення НС, що впливають на роботу автогенераторного засобу вимірювання вологості під час НС, і, також можливі шляхи їх усунення. Було розраховано граничні значення вертикальної і горизонтальної складових напруженості електромагнітного поля. А також був проведений розрахунок екранування для захисту автогенераторного засобу вимірювання вологості від загрозливих чинників НС та наведені можливі варіанти такого захисту.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз існуючих перетворювачів вологості показав, що створення та використання частотних перетворювачів вологості на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним опором, що реалізують принцип перетворення "вологість - частота" є перспективним науковим напрямком у розвитку автоматизованих систем керування, діагностики та контролю різноманітних технологічних процесів. Використання реактивних властивостей напівпровідникових приладів компенсує втрати в коливальному контурі, що значно підвищує чутливість мікроелектронних частотних перетворювачів вологості до вимірювального параметру – вологості навколишнього середовища.

2. Використання перетворювачів вологості з вихідним частотним сигналом обумовлене їх високою завадостійкістю, простотою і точністю перетворення частотного сигналу в цифровий код. Крім того використання частотного інформативного сигналу мікроелектронного сенсора виключає необхідність застосування аналого-цифрових перетворювачів в таких системах, що знижує їх собівартість.

3. Проведено огляд сучасних сенсорів відносної вологості та обґрунтовано вибір у якості вологочутливого елементу ємнісного сенсора відносної вологості повітря.

4. Розроблено математичну модель ємнісного вологочутливого елементу, що являє собою систему V-подібних та трапецієподібних електродів на основі гігроскопічної солі $BaCl_2$. Розраховано, що в діапазоні зміни відносної вологості від 30 % до 99 % ємність вологочутливого конденсатора змінюється від 61,5 пФ до 138 пФ.

5. В результаті моделювання різних автогенераторних перетворювачів для вимірювання вологості в середовищі *Orcad Family Release* було визначено, що автогенераторні перетворювачі побудовані на основі структур з від'ємним

опором володіють найбільшою чутливістю та стабільністю у порівнянні з розглянутими генераторами.

6. Розроблено моделі автогенераторних засобів для вимірювання відносної вологості повітря в яких на відміну від існуючих, врахований вплив відносної вологості повітря на частоту генерації автогенераторного засобу, що дало змогу отримати аналітичні залежності рівнянь чутливості та функції перетворення відносної вологості у частоту. Отримані залежності можуть бути використані для інженерного розрахунку автогенераторних засобів для вимірювання вологості.

7. Розроблено математичні моделі автогенераторних засобів для вимірювання відносної вологості повітря, які, на відміну від існуючих, виконані в часовому домені, що дає можливість визначати зміну величини струмів і напруг в часі, а також спостерігати форму вихідних коливань.

8. Розроблено автогенераторний засіб для вимірювання відносної вологості з вологочутливим ємнісним сенсором в якому при збільшенні відносної вологості повітря від 20 % до 99 % частота вихідного сигналу зменшується з 1055 кГц до 890 кГц. Чутливість автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря з вологочутливим ємнісним сенсором при цьому збільшується від 6,09 кГц/% до 10,9 кГц/%, а амплітуда вихідного сигналу складає 2,5 В.

9. Розроблено автогенераторний засіб для вимірювання відносної вологості з вологочутливим резистивним сенсором. Експериментально встановлено, що збільшення температури навколишнього середовища при діапазоні відносної вологості W=30÷85% приводить до розширення діапазону генерації автогенераторного перетворювача вологості і до збільшення чутливості пристрою до вимірюваної величини – відносної вологості повітря. Діапазон генерації автогенераторного перетворювача вологості при температурі T=20 °C набуває значення 823 кГц (середнє значення чутливості – 16,18 кГц/%), а при температурі T=50 °C – 1323 кГц (середнє значення чутливості – 29,10

кГц/%). Отримані теоретичні та експериментальні дослідження мають гарний збіг, відносна похибка не перевищує 3%.

10. Розрахунки на економічність приладу показали, що його впровадження у виробництво є економічно ефективним. Фінансування даної наукової розробки та дослідження радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів є доцільним.

11. В розділу охорони праці були розглянуті апекти безпеки в надзвичайних ситуаціях, технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення безпечної відстані від джерела електричного поля, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення розробки радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пат. 37047 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/56. Сенсор вологості / З.Ю. Готра, О.М. Мельник (УКРАЇНА). - № 2000031459; Заявл. 14.03.2000; Опубл. 16.04.2001; Бюл. № 3. - 2 с.

2. Пат. 34264 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/56. Сенсор вологості / З.Ю. Готра, О.З. Готра, К. Камуда, І.Є. Дубницька (УКРАЇНА). - № 99063429; Заявл. 18.06.1999; Опубл. 15.02.2001; Бюл. № 1. - 2 с.

3. Пат. 34240 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/56. Сенсор вологості / З.Ю. Готра, О.З. Готра, К. Камуда, І.Є. Дубницька (УКРАЇНА). - № 99063374; Заявл. 17.06.1999; Опубл. 15.02.2001; Бюл. № 1. - 2 с.

4. Пат. 47924 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/56. Термоелектричний спосіб контролю вологості газових середовищ / Ю.О. Скрипник, В.Р. Курко (УКРАЇНА). - № 2001117580; Заявл. 06.11.2001; Опубл. 15.07.2002; Бюл. № 7. - 5 с.

5. Пат. 70166 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/56. Термопарний вологомір / Ю.О. Скрипник, В.Р. Курко, М.О. Суглоба (УКРАЇНА). - №20031212734; Заявл. 29.12.2003; Опубл. 15.09.2004; Бюл. № 9. - 5 с.

6. Пат. 38067 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 22/04. Мікрохвильовий вимірювач вологості / Ю.О. Скрипник, І.М. Марченко (УКРАЇНА). - №2000052974; Заявл. 24.05.2000; Опубл. 15.05.2001; Бюл. № 4. - 5 с.

7. Пат. 17937 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 22/04. Спосіб дистанційного вимірювання вологості твердих матеріалів та пристрій для його здійснення / Ю.О. Скрипник, А.О. Потапов, І.С. П’ятін (УКРАЇНА). - №94020511; Заявл. 14.05.1993; Опубл. 31.10.1997; Бюл. № 5. - 8 с.

8. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Напівпровідникові прилади з відємним опором: Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2006. - 162с.

9. Осадчук В. С., Осадчук О. В. Напівпровідникові перетворювачі інформації: Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 208 с.

10. Пат. 46385 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/12. Вимірювач вологості / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, Л.В. Крилик (УКРАЇНА). - №2001074689; Заявл. 05.07.2001; Опубл. 15.05.2002; Бюл. № 5. - 2 с.

11. Пат. 33118 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 5/00. Напівпровідниковий датчик вологості / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, Е.В. Осадчук (УКРАЇНА). - №98126388; Заявл. 03.12.1998; Опубл. 15.02.2001; Бюл. № 1. - 2 с.

12. Пат. 46381 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/12. Мікроелектронний давач вологості / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук (УКРАЇНА). - №2001074675; Заявл. 05.07.2001; Опубл. 15.05.2002; Бюл. № 5. - 2 с.

13. Пат. 43044 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 5/00. Мікроелектронний пристрій для виміру вологості / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук (УКРАЇНА). - №2001010072; Заявл. 03.01.2001; Опубл. 15.11.2001; Бюл. № 10. - 2 с.

14. Пат. 33120 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 5/00. Пристрій для вимірювання вологості / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, Е.В. Осадчук (УКРАЇНА). - №98126390; Заявл. 03.12.1998; Опубл. 15.02.2001; Бюл. № 1. - 2 с.

15. Осадчук О.В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від’ємним опром. – Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2000. – 303 с.

16. Пат. 51222 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Ємнісний датчик вологості / О.В. Заболотний, В.А. Заболотний, М.Д. Кошовий (УКРАЇНА). - №2002020867; Заявл. 04.02.2002; Опубл. 15.10.2004; Бюл. № 10. - 2 с.

17. Пат. 62125 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Ємнісний датчик вологості / О.В. Заболотний, М.Д. Кошовий, В.А. Заболотний (УКРАЇНА). - №2002120070; Заявл. 13.12.2002; Опубл. 15.12.2003; Бюл. № 12. - 2 с.

18. Пат. 43725 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Пристрій для вимірювання вологості матеріалів / О.В. Заболотний, В.А. Заболотний, М.Д. Кошовий, О.М. Кошовий (УКРАЇНА). - №2001064082; Заявл. 14.06.2001; Опубл. 15.09.2004; Бюл. № 9. - 3 с.

19. Пат. 53186 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Ємнісний вимірювач вологості матеріалів / О.В. Заболотний, М.Д. Кошовий, В.А. Заболотний (УКРАЇНА). – №2002042547; Заявл. 01.04.2002; Опубл. 15.01.2003; Бюл. № 1. - 4 с.

20. Пат. 69824 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Датчик вологості нафтопродуктів / О.В. Заболотний, М.Д. Кошовий, Р.А. Казимов (УКРАЇНА). - №20031211248; Заявл. 09.12.2003; Опубл. 15.09.2004; Бюл. № 9. - 4 с.

21. Пат. 49542 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Ємнісний датчик вологості сипких матеріалів / О.В. Заболотний, В.А. Заболотний, М.Д. Кошовий (УКРАЇНА). - №2001128984; Заявл. 25.12.2001; Опубл. 16.09.2002; Бюл. № 9. - 4 с.

22. Пат. 48596 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Ємнісний вимірювальний перетворювач / О.В. Заболотний, В.А. Заболотний, М.Д. Кошовий (УКРАЇНА). - №2001107200; Заявл. 23.10.2001; Опубл. 16.08.2004; Бюл. № 8. - 2 с.

23. Пат. 75443 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Спосіб вимірювання вологості капілярно-пористих матеріалів / В.О. Поджаренко, М.О. Куцевол, О.М. Кулевол (УКРАЇНА). - №2004031485; Заявл. 01.03.2004; Опубл. 17.04.2006; Бюл. № 4. - 2 с.

24. Кулевол О.М., Поджаренко В.О. Радіочастотні методи вимірювання вологості зерна // Вісник ВПІ. - 2005. - №3. - С. 5-7.

25. Кулевол О.М., Куцевол М.О., Поджаренко В.О. Мікропроцесорний вологомір зерна // Вісник ВПІ. - 2005. - №4. - С. 16-18.

26. Аш Ж. Датчики измерительных систем. В 2-х книгах. – М.: Мир, 1992. – 424 с.

27. Виглеб Г. Датчики: Пер. с нем. – М.: Мир, 1989. – 196 с.

28. Пат. 2132051 РФ, МКІ G 01 N 22/04. Устройство для измерения влажности/ Л.И. Елшина, В.П. Козлов (РФ). - №98116427/09; Заявл. 28.08.1998; Опубл. 20.06.1999; Бюл. № 17. - 3 с.

29. Пат. 2130606 РФ, МКІ G 01 N 27/22. Устройство для измерения влажности сыпучих веществ / В.Ф. Калугин (РФ). - №98105331/25; Заявл. 23.03.1998; Опубл. 20.05.1999; Бюл. № 14. - 5 с.

30. Пат. 2135984 РФ, МКІ G 01 N 22/04. Способ определения влагосодержания потока нефти одного месторождения / Г.Н. Ахобадзе (РФ). - №98110768/09; Заявл. 04.06.1998; Опубл. 27.08.1999; Бюл. № 24. - 3 с.

31. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Крилик Л.В. Сенсори вологості: Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2003. – 208 с.

32. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Вербицький В.Г. Температурні та оптичні мікроелектронні частотні перетворювачі. – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2001. – 195 с.

32. Гаряинов С.А., Серьезнов А.Н., Степанова Л.Н., Филинюк Н.А. Негатроника. – Новосибирск: Наука, 1995. – 320 с.

34. Філинюк М.А., Лазарєв О.О. Аналіз впливу зворотного зв’язку на параметри динамічного негатрона на польовому транзисторі // Вісник ВПІ. – 2000. - №6. – С. 94-97.

35. Філинюк М.А., Лазарєв О.О. Дослідження енергетичних властивостей нелінійної ємності // Вісник ВПІ. – 2000. - №4. – С. 92-95.

36. Крилик Л.В. Мікроелектронні частотні перетворювачі вологості на основі напівпровідникових структур з від’ємним опром. – Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2003. – 214 с.

37. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Напівпровідникові прилади з відємним опором: Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2006. - 162с.

38. Осадчук В. С., Осадчук О. В. Напівпровідникові перетворювачі інформації: Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 208 с.

39. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Крилик Л.В., Звягін О.С. Визначення вольт-амперної характеристики частотного перетворювача вологості на основі двох КМДН-транзисторів з активним індуктивним елементом // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2007. - №1(13). – С. 53-58.

40. Пат. 32338 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/12. Пристрій для контролю відносної вологості / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, Л.В. Крилик, О.С. Звягін (УКРАЇНА). - №u200800395; Заявл. 11.01.2008; Опубл. 12.05.2008; Бюл. № 9. - 3 с.

41. Пат. 34555 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 22/00. Пристрій для вимірювання вологості / Л.В. Крилик, Ю.С. Кравченко, О.С. Звягін, О.М. Мельничук (УКРАЇНА). - №u200804581; Заявл. 10.04.2008; Опубл. 11.08.2008; Бюл. № 15. - 2 с.

42. Пат. 2135985 РФ, МКІ G 01 N 22/04. Проточный измеритель влажности нефтепродуктов / В.В. Галицын (УКРАИНА). - №98102039/09; Заявл. 05.02.1998; Опубл. 27.08.1999; Бюл. № 24. - 5 с.

43. Пат. 15495 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 22/04. Спосіб зондової НВЧ-вологометрії / М.І. Липунов, М.О. Корчемний, Л.М. Бойко (УКРАЇНА). - №93030187; Заявл. 18.11.1992; Опубл. 30.06.1997; Бюл. № 3. - 4 с.

44. Стенцель Й.І. Метрологія та технологічні вимірювання в хімічній промисловості. Аналітичні прилади і методи контролю. Ч.2.: Навчальний посібник. – Луганськ: вид-во Східноукраїнського нац. ун-ту, 2000. – 263 с.

45. Богачук В.В., Мокін Б.І. Методи та засоби вимірювального контролю вологості порошкоподібних матеріалів. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2008. – 141 с.

46. Подлепецкий Б.И., Симаков А.Б. Микроэлектронные датчики влажности // Научно – технический сборник. Зарубежная электронная техника. – 1987. – №2 (309). – С. 64 – 97.

47. Заявка на Пат. УКРАЇНИ, МКІ G 01 N 25/56. Сенсор вологості / В.С. Осадчук, Л.В. Крилик, О.С. Звягін (УКРАЇНА). - №a200804579; Заявл. 10.04.2008.

48. Осадчук В. С., Крилик Л. В., Євсєєва М. В., Звягін О.С. Ємнісний сенсор вологості // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. - №5 (подано до друку).

49. Осадчук В. С., Осадчук О. В., Крилик Л. В., Євсєєва М. В. Ємнісний сенсор вологості гребінцевої структури на основі полімерних матеріалів // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. - №2(12). – С. 229-234.

50. Осадчук В.С. Частотні перетворювачі для контролю вологості нафтопродуктів : монографія / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, О.С. Звягін. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 152 с.

51. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами наукового напрямку економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. В.О. Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.

52. Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – Вінниця : ВДТУ, 2003. – 75с.

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

54. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://vsegost.com/Catalog/41/41131.shtml

55. Березюк О. В. Охорона праці. Підсумкова державна атестація спеціалістів, магістрів в галузях електроніки, радіотехніки, радіоелектронних апаратів та зв'язку : навчальний посібник / О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 104 с.

56. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об`єктів будівництва. Загальні вимоги- [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002..pdf

57. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

58. ДБНВ.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. К. : Мінбуд України, 2006. -154 с.

59. ДБНВ.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування –К. : Мінрегіонбуд України, 2013. –149с.

60. ДСанПіН3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з

візуальними дисплейними термінаналами електронно-обчислювальних машин [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445.

61. 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

62. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14.

Додаток А
(обов’язковий)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри РТ
д.т.н., професор О.В. Осадчук

«_15__» __03____2021 р.
(підпис)

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
РОЗРОБКА АВТОГЕНЕРАТОРНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ
08-36.МКР.001.00.000 ТЗ

Керівник МКР к.т.н.,доц.
О.С. Звягін
_____ «____» _____2021 р.
(підпис)

Розробив студент гр. РТ-19м з/в
Кужильний О.О.
_____ «____» _____2021 р.
(підпис)

Вінниця ВНТУ 2021

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету № 64 “09 ” 03 2021 року та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: “03 ” ___09_____ 2020 р.

Дата закінчення: “ 06 ” червня 2021 р.

2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Мета і задачі дослідження

Метою роботи є розробка та дослідження автогенераторного засобу для вимірювання вологості повітря на основі транзисторної структури з від’ємним опором.

Об’єктом дослідження є процес перетворення відносної вологості повітря у частотний сигнал в чутливих напівпровідникових структурах.

Предмет дослідження – статичні та динамічні характеристики автогенераторного засобу для вимірювання вологості повітря на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від’ємним опором.

Для досяґнення поставленої мети в маґістерській кваліфікаційній роботі необхідно вирішити наступні *задачі*:

- проаналізувати існуючі перетворювачі вологості та обгрунтувати переваги перетворювачів вологості з частотним виходом по відношенню до існуючих;

- розробити математичну модель ємнісного вологочутливого елементу, що являє собою систему V-подібних та трапецієподібних електродів;

- розробити математичні моделі автогенераторного засобу для вимірювання вологості, на основі яких отримати аналітичну залежність функцій перетворення та рівняння чутливості;

- виконати експериментальну перевірку залежностей електричних параметрів та характеристик розроблених математичних моделей.

Методи дослідження ґрунтуються на використанні:

- рівнянь математичної фізики під час розробки математичних моделей первинних перетворювачів вологості;

- основних положень теорії функції комплексної змінної для визначення функції перетворення та рівняння чутливості;

- диференціального та інтеґрального числення для створення математичних моделей;

- теорії розрахунку нелінійних електричних кіл з використанням законів Кірхґофа та методу змінних станів.

3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

1. Осадчук О.В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором. – Вінниця: «УНІВЕРСУМ–Вінниця», 2000. – 303 с.

2. Осадчук В.С. Частотні перетворювачі для контролю вологості нафтопродуктів / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, О.С. Звягін. Монографія. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 152 с.

3. Ю. Готра Сенсор вологості/ З.Ю. Готра, О.З. Готра, К. Камуда - заявник та патентовласник держ. ун-т «Львівська політехніка» - 15.02.2001.

4. Козловський В. О. Основи підприємництва. Курс лекцій. Част. 1. / В. О. Козловський – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 196 с.

5. Козловський В. О. Основи підприємництва. Курс лекцій. Част. 2 / В. О. Козловський – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 184 с.

6. Лемешев М. С. Основи охорони праці для фахівців радіотехнічного профілю : навчальний посібник / М. С. Лемешев, О. В. Березюк. – Вінниця : ВНТУ, 2007. – 108 с.

7. ДСН 3.3.6.042–99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

4. ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра радіотехніки, студент ґрупи РТ–19м з/в Кужильний Олександр Олександрович.

5 ВИМОҐИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати розробку автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря.

Пристрій повинен забезпечувати наступні функції та параметри:

- напруга живлення не більше 10 В,
- струм споживання не більше 100 мА,
- діапазон вимірювання вологості від 30 % до 100 %,
- амплітуда вихідного сигналу не менше 2 В,
- частота вихідного сигналу не менше 500 кГц.

6. ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документація
1.	Огляд літературних джерел. Вибір та узгодження теми МКР	03.09.2020	31.12.2021	Проведено огляд літературних джерел. Вибрана тема	Узгодження теми МКР на кафедрі
2.	Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів	07.01.2021	14.02.2021	Проведений аналіз літературних джерел по даній тематиці. Підготовлений матеріал основних розділів	Вступ
3.	Затвердження теми. Розробка технічного завдання	15.02.2021	06.03.2021	Розроблене ТЗ	Наказ ВНТУ про затвердження теми. Додаток А
4.	Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми	01.03.2021	21.03.2021	Проведений аналіз. Розроблені схеми пристрою	Звіт по переддипломній практиці Вступ Розділ 1-2
5.	Електричні розрахунки. Експериментальне дослідження	22.03.2021	11.04.2021	Проведені розрахунки та дослідження	Розділ 3
6.	Розділ моделювання	12.04.2021	19.04.2021	Проведено моделювання	Результати моделювання
7.	Розробка графічної частини МКР	20.04.2021	30.04.2021	Плакати. Структурні та електричні схеми	Графічна частина
8.	Аналіз економічної ефективності розробки	01.05.2021	14.05.2021	Економічна частина	Розділ 4
9.	Охорона праці (ОП)	15.05.2021	20.05.2021	Частина БЖДПБ	Розділ 5
10.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	21.05.2021	26.05.2021	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
11.	Нормоконтроль	27.05.2021	31.05.2021	Підпис нормоконтроля	Оформлена ПЗ та графічна частина
12.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР	01.06.2021	06.06.2021	Позитивні відзиви	Відзив. Рецензія
13.	Захист МКР ЕК	07.06.2021	11.06.2021	Позитивний захист	Протокол ЕК

7. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- аналіз сучасного стану розвитку вимірювальних засобів вологості;
- обґрунтування вибору первинного сенсора для вимірювання відносної вологості повітря;
- структурна схема автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря;
- ємнісний сенсор для вимірювання відносної вологості повітря;
- схема електрична принципова автогенераторного засобу для вимірювання вологості повітря з ємнісним сенсором;
- еквівалентна схема автогенераторного засобу для вимірювання вологості з ємнісним сенсором;
- схема електрична принципова автогенераторного засобу для вимірювання вологості повітря з резистивним сенсором;
- моделювання автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря;
- експериментальна перевірка розробленого пристрою;
- розділ безпеки життєдіяльності.
- розділ економічної частини.

8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬСЯ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

10. ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- структурна схема автогенераторного засобу для вимірювання відносної вологості повітря;
- схема електрична принципова автогенераторного засобу для вимірювання вологості повітря з ємнісним сенсором;
- еквівалентна схема автогенераторного засобу для вимірювання вологості з ємнісним сенсором;
- схема електрична принципова автогенераторного засобу для вимірювання вологості повітря з резистивним сенсором;
- розділ безпеки життєдіяльності;
- розділ економічної частини.

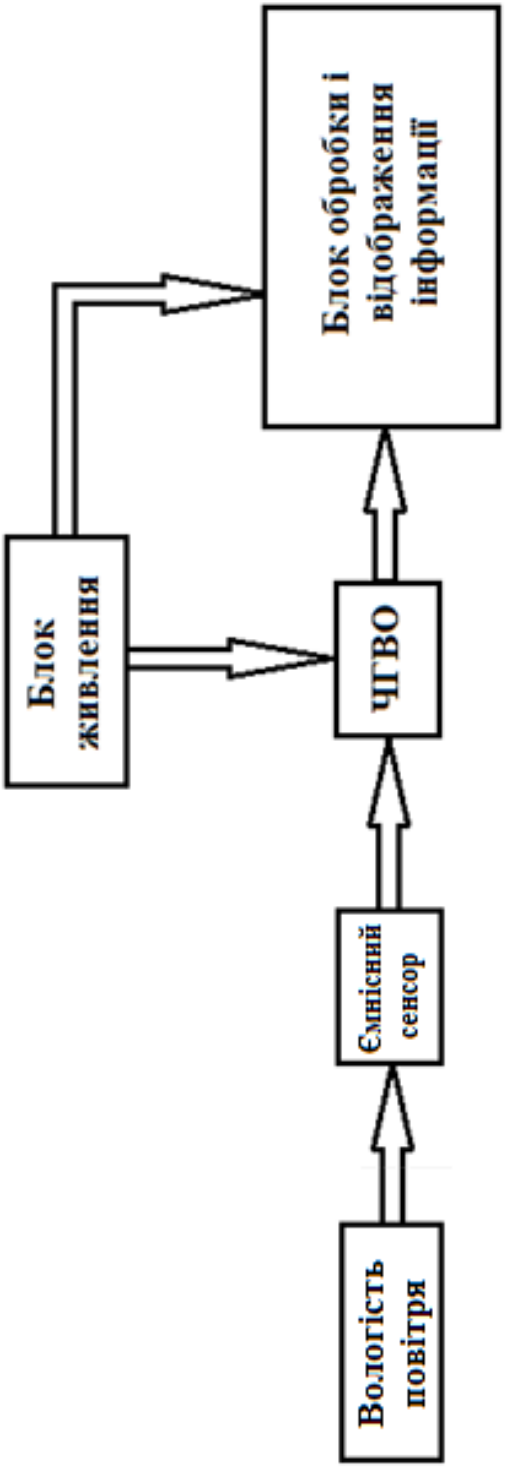
11. ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

У зв`язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

Додаток Б
(обов’язковий)

РОЗРОБКА АВТОГЕНЕРАТОРНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

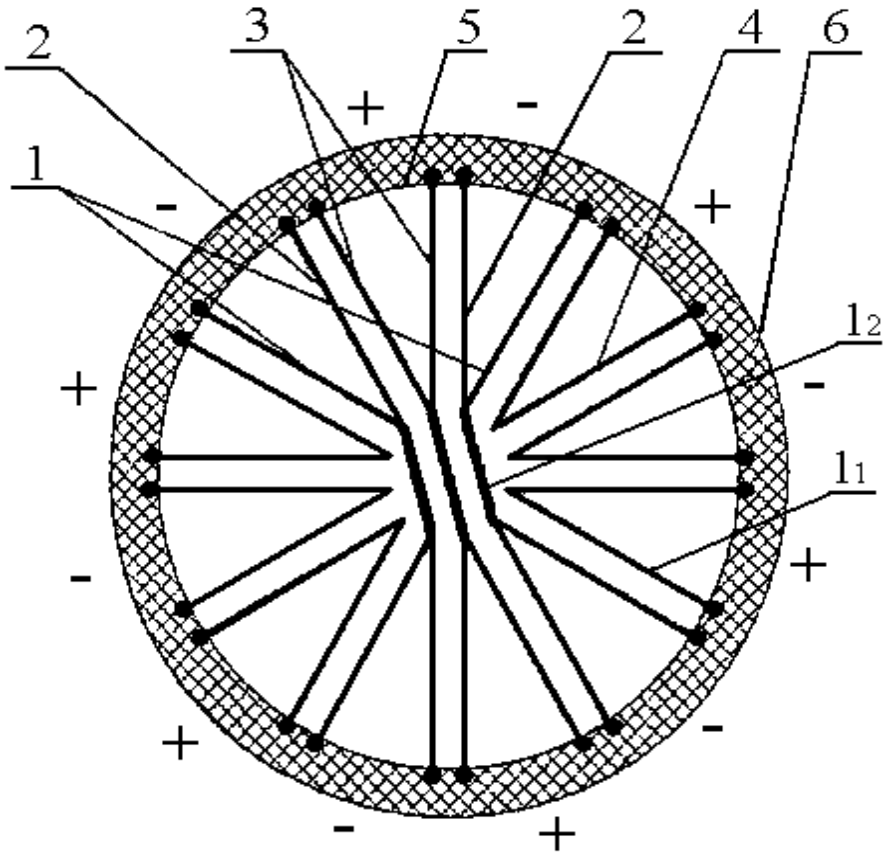
Структурна схема


Блок обробки і відображення інформації
Блок живлення
ЧГВО
Ємнісний сенсор
Вологість повітря

Додаток В
(обов’язковий)

РОЗРОБКА АВТОГЕНЕРАТОРНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

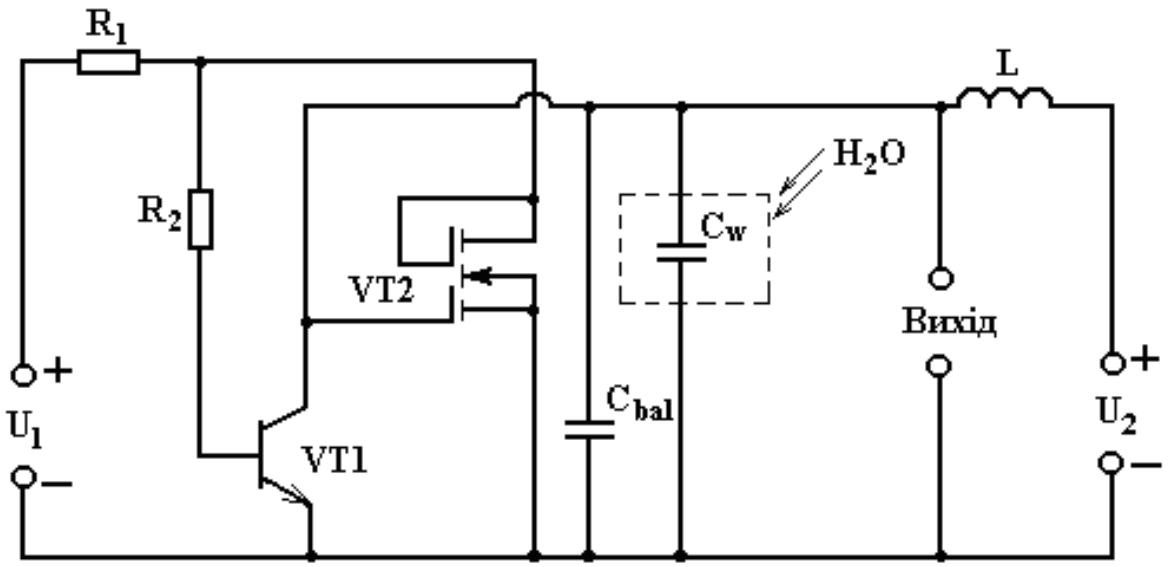
Ємнісний вологочутливий сенсор


2
3
5
2
4
6
1
+
-
+
-
+
-
+
-
+
-
+
-
l_2
l_1

Додаток Г
(обов’язковий)

РОЗРОБКА АВТОГЕНЕРАТОРНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

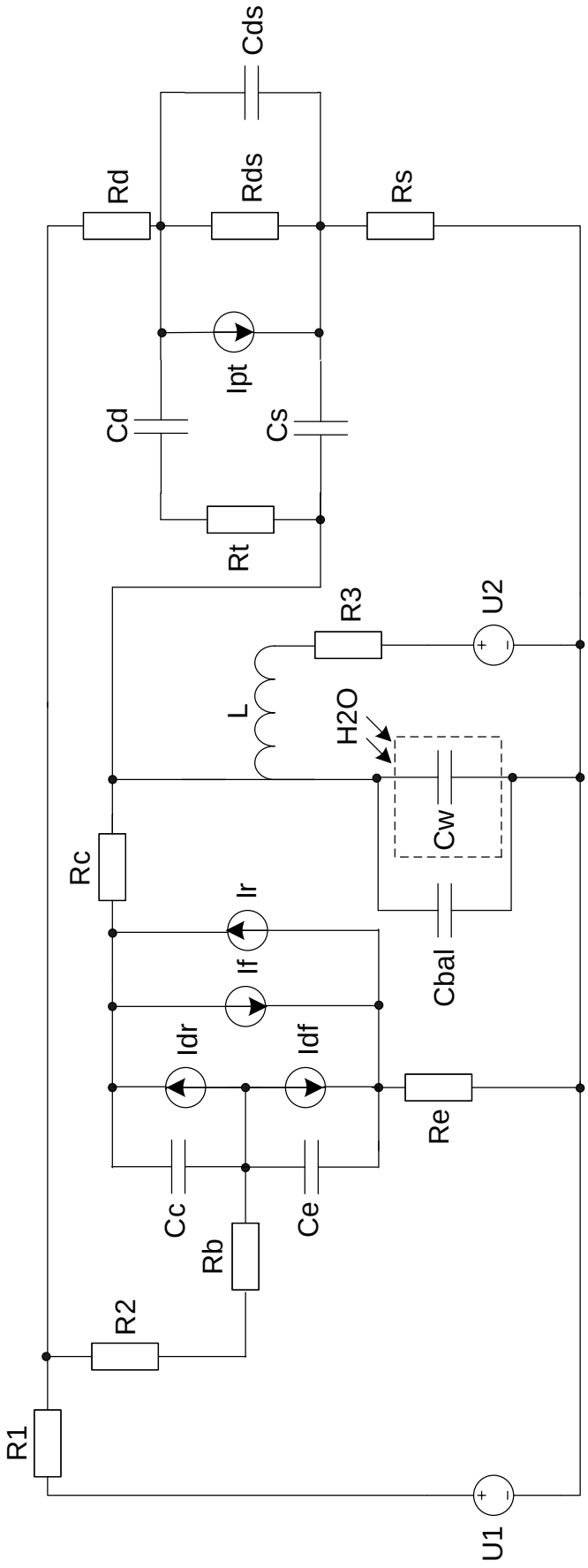
Схема електрична принципова з ємнісним сенсором


R1
L
H2O
R2
Cw
VT2
Вихід
+
U1
Cbal
+
U2
VT1
–
–

Додаток Д
(обов’язковий)

РОЗРОБКА АВТОГЕНЕРАТОРНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

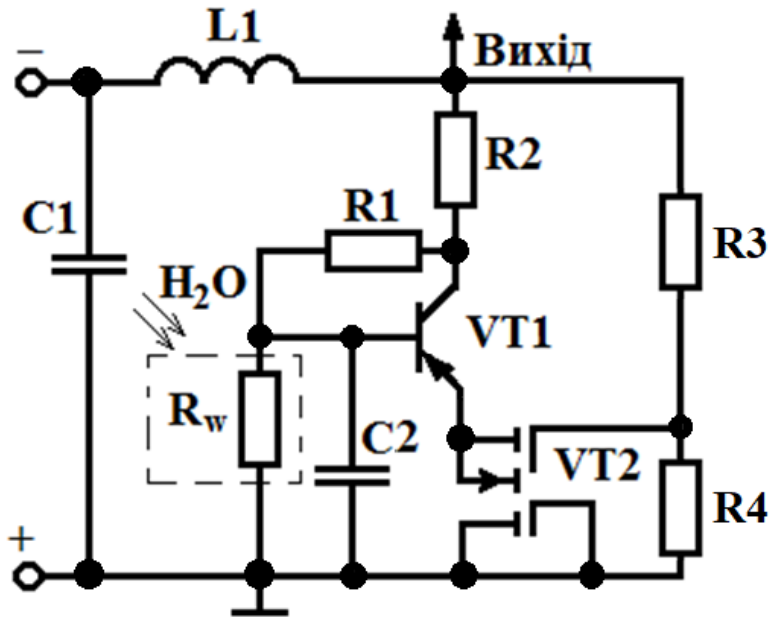
Схема еквівалентна електрична з ємнісним сенсором


Cds
Rd
Rds
Rs
Ipt
Cd
Cs
Rt
R3
U2
L
H2O
Cw
Rc
Ir
If
Cbal
Idr
Idf
Re
Cc
Ce
Rb
R2
R1
U1

Додаток Е
(обов’язковий)

РОЗРОБКА АВТОГЕНЕРАТОРНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

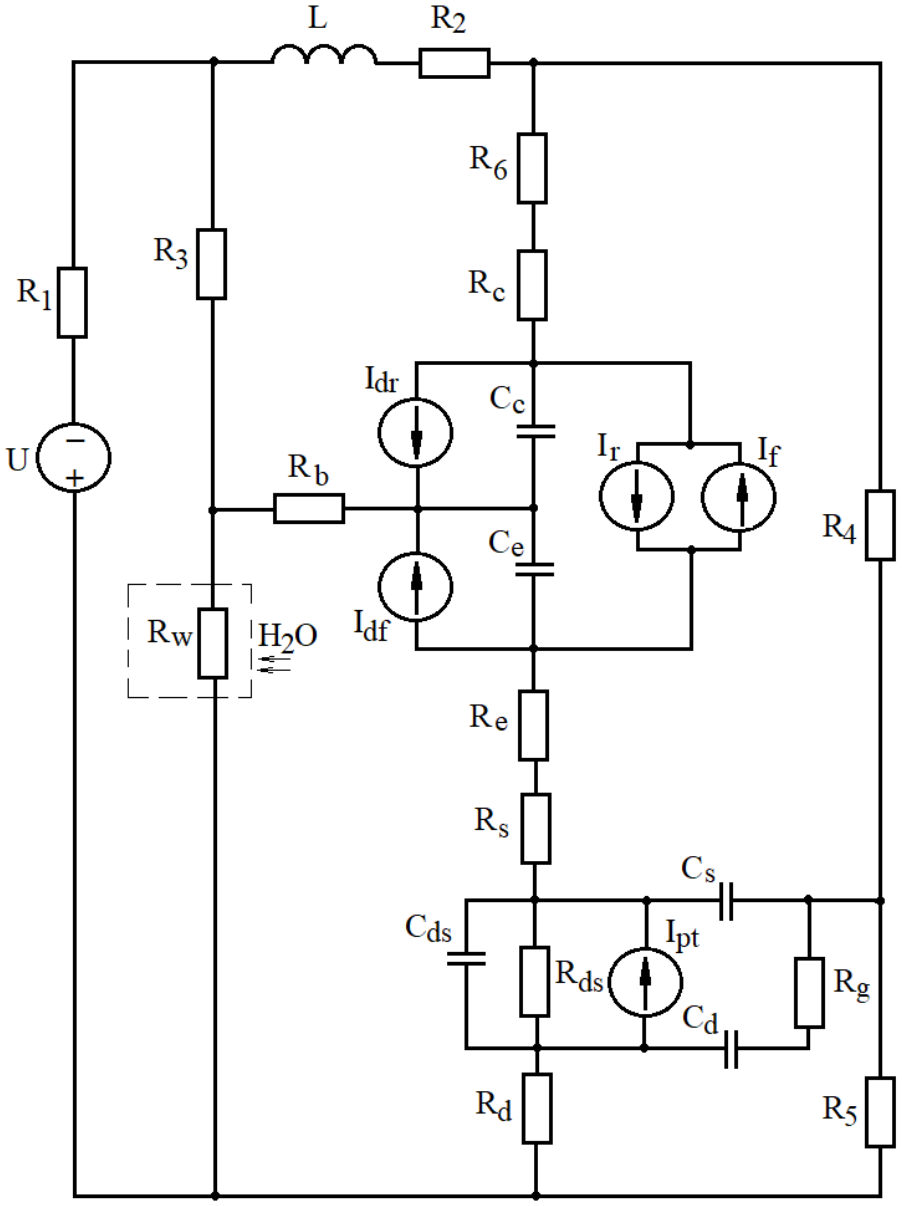
Схема електрична принципова з резистивним сенсором


L1
Вихід
–
+
R2
R1
C1
R3
H2O
VT1
Rw
C2
VT2
R4

Додаток Ж
(обов’язковий)

РОЗРОБКА АВТОГЕНЕРАТОРНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

Схема еквівалентна електрична з резистивним сенсором


L
R2
R6
R3
Rc
R1
Idr
Cc
U
Ir
If
Rb
R4
Ce
Rw
H2O
Idf
Re
Rs
Cs
Cds
Ipt
Rds
Rg
Cd
Rd
R5