

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра радіотехніки
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка
до магістерської кваліфікаційної роботи
«Магістр»
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ВОЛОГОСТІ
НАФТОПРОДУКТІВ**

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-19м
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка Освітня програма: Радіотехніка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Орленко О. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. РТ

Звягін О. С.

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2020 р.

Рецензент к.т.н., доцент каф. ТКСТБ

Семенова О. О.

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2020 р.

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем

Кафедра Радіотехніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень Магістр

Спеціальність _____

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри РТ

д.т.н., професор О.В. Осадчук

“28” 09 2020 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Орленку Олександр Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Радіовимірювальний перетворювач вологості нафтопродуктів»

керівник роботи к.т.н., доцент Звягін Олександр Сергійович

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “25” 09 2020 року

№ 214.

2. Строк подання студентом роботи 10 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи: напруга живлення до 9 В, струм споживання не

більше 40 мА, діапазон вимірювання вологості від 0 % до 20 %, амплітуда

вихідного сигналу не менше 1 В, діапазон робочих частот 400 кГц – 700 кГц.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно

розробити) аналіз сучасного стану розвитку вимірювальних засобів вологості;

обґрунтування вибору первинного сенсора для вимірювання вологості

нафтопродуктів; розробка радіовимірювального перетворювача для

вимірювання вологості нафтопродуктів; економічна частина, безпека життєдіяльності; висновки; перелік посилань; додатки.

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

Структурна схема радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів, первинний сенсор для вимірювання вологості нафтопродуктів; схема електрична принципова радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів; еквівалентна схема радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів, система для вимірювання вологості нафтопродуктів.

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	к.т.н., доцент Березюк О. В.		
Економічна частина	к.т.н., доцент Адлер О. О.		

7. Дата видачі завдання 29 вересня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд літературних джерел. Вибір та узгодження теми МКР	03.09.2020-13.09.2020	
2.	Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів	14.09.2020-20.09.2020	
3.	Затвердження теми. Розробка технічного завдання	21.09.2020-25.09.2020	
4.	Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми	26.09.2020-09.10.2020	
5.	Електричні розрахунки. Експериментальне дослідження	10.10.2020-25.10.2020	

6.	Розділ моделювання	26.10.2020-04.11.2020	
7.	Розробка графічної частини МКР	05.11.2020-15.11.2020	
8.	Охорона праці (ОП)	16.11.2020-19.11.2020	
9.	Аналіз економічної ефективності розробки	19.11.2020-22.11.2020	
10.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	23.11.2020-29.11.2020	
11.	Нормоконтроль	30.11.2020-01.12.2020	
12.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР	02.12.2020-04.12.2020	
13.	Захист МКР ЕК	11.12.2020-14.12.2020	

Студент

(підпис)

Орленко О. В

Керівник роботи

(підпис)

Звягін О. С.

РЕФЕРАТ

УДК 621.396

Орленко О. В. Радіовимірювальний перетворювач вологості нафтопродуктів. Магістерська кваліфікаційна робота з напрямку підготовки «Радіотехніка» – Вінниця: ВНТУ 2020р. – 161 стор., 43 рис., 23 таб., – українською мовою.

У роботі наведено результати розроблення та дослідження радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів на основі транзисторної структури із від’ємним диференціальним опором. Проведено обґрунтування вибору первинного сенсора вологості нафтопродуктів та вибір радіовимірювального перетворювача для вимірювання вологості нафтопродуктів. Розроблено фізико-математичну модель вологочутливої конденсаторної циліндричної структури, яка дозволяє встановити залежність електричної ємності від кількості вологи в нафтопродуктах. Розроблено математичну модель радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів, що дало можливість отримати аналітичні залежності функції перетворення і рівнянь чутливості на основі конденсаторної циліндричної структури, які відрізняються від існуючих тим, що в них враховано вплив вологості нафтопродуктів на частоту коливань радіовимірювального перетворювача з від’ємним опором.

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, конденсаторна циліндрична структура, вологість нафти, математична модель, радіовимірювальний перетворювач.

ABSTRACT

Orlenko O.V. The radiomeasuring transducer of petroleum products humidity. Master's qualification work in the field of training "Radio Engineering" – Vinnitsa: VNTU, 2020. – 161 p., Fig. 43, Tab. 23. – Ukrainian language

The paper presents the results of development and research of the radiomeasuring transducer of petroleum products humidity on the basis of a transistor structure with a negative differential resistance. The substantiation of the choice of the primary sensor of humidity of petroleum products and the choice of the radiomeasuring transducer for measurement of humidity of petroleum products is carried out. The physico-mathematical model of the moisture-sensitive condenser cylindrical structure has been developed, which allows to establish the dependence of the electric capacity on the amount of humidity in petroleum products. The mathematical model of the radiomeasuring transducer of petroleum product humidity was developed, which made it possible to obtain analytical dependences of the conversion function and sensitivity equations based on the capacitor cylindrical structure, which differ from the existing ones in that they take into account the influence of petroleum product humidity on the frequency.

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, condenser cylindrical structure, oil humidity, mathematical model, radiomeasuring transducer.

З М І С Т

ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ .	13
1.1. Особливості вимірювання вологи у нафтопродуктах	13
1.2. Сучасні засоби вимірювання вологості	16
1.3. Засоби для вимірювання вологості нафтопродуктів та їх класифікація ...	24
1.4. Висновки до розділу 1.....	40
2 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРВИННОГО СЕНСОРУ ВОЛОГОСТІ .	41
2.1 Сучасні первинні перетворювачі вологості нафтопродуктів.....	41
2.2 Фізико-математична модель первинного сенсору вологості нафтопродуктів	46
2.3. Висновки до розділу 2.....	56
3 РОЗРОБКА РАДІОВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВОЛОГОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ	57
3.1. Дослідження та вибір вторинного перетворювача вологості нафтопродуктів	58
3.2. Математична модель радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів на основі транзисторної структури з від'ємним опором	65
3.3 Розробка мікропроцесорної системи контролю вологості нафтопродуктів	80
3.4. Висновки до розділу 3.....	86
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	88
4.1. Аналіз комерційного потенціалу розробки радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів.....	88
4.1.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки.....	90
4.1.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості для нового рішення..	94
4.1.3 Визначення рівня конкурентноспроможності розробки.....	96
4.2 Розрахунок витрат на проведення НДДКР з дослідження приладу вимірювання вологості.....	99
4.2.1 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.....	107
4.2.2 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.....	109
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	114

5.1 Технічні рішення з виробничої санітарії та гігієни.....	114
5.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони.....	114
5.1.2 Виробниче освітлення.....	116
5.1.3 Виробничі віброакустичні коливання.....	117
5.1.4 Виробничі випромінювання.....	119
5.2 Промислова та пожежна безпека під час проведення розробки радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів.....	119
5.2.1 Безпека щодо організації робочих місць.....	119
5.2.2 Електробезпека.....	120
5.2.3 Пожежна безпека.....	120
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Визначення області працездатності радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.....	123
5.3.1 Визначення області працездатності радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів в умовах дії іонізуючих випромінювань.....	125
5.3.2 Визначення області працездатності радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	126
ВИСНОВКИ.....	129
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	132
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання	144
Додаток Б (обов'язковий) Структурна схема приладу для вимірювання вологості нафтопродуктів.....	150
Додаток В (обов'язковий) Схема електрична радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів.....	152
Додаток Д (обов'язковий) Схема еквівалентна радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів.....	154
Додаток Е (обов'язковий) Структурна схема системи для вимірювання вологості нафтопродуктів.....	156
Додаток Ж (обов'язковий) Система для контролю та вимірювання вологості нафтопродуктів.....	158
Додаток К (обов'язковий) Класифікація приладів для вимірювання вологості нафтопродуктів.....	160

ВСТУП

Актуальність. Будь-яка країна не обходиться без таких ресурсів як нафта та газ. При переробці нафтопродуктів отримують бензин, мазут, масла та інші продукти, які при транспортуванні можуть спотворювати покази витратомірів при наявності в них навіть малих домішок води. Контроль вологості дозволяє забезпечити їхню якість.

Одне з головних місць у вимірювальній техніці займають прилади для вимірювання та контролю вологості. Розробка та вдосконалення цього класу вимірювальних приладів зумовлені підвищенням вимог точності до них при одночасному поліпшенні експлуатаційних умов.

Домішки води у нафтових продуктах та маслах, є головною проблемою для фахівців у цій спеціальності. Вода, яка присутня в технічних рідинах, а саме в гідравлічних і мастильних, в дуже малих кількостях може призвести до значних пошкоджень технічних вузлів, яким потрібне змащення рухомих деталей. Волога, яка присутня в маслах, призводить до зменшення міцності плівки, що тим самим викликає корозію та збільшує виробіток деталей . Вода здатна вступати в реакцію з іншими домішками, які присутні в нафті та нафтопродуктах, як в результаті отримані продукти реакції можуть бути небезпечними для деяких матеріалів, що призводить до швидкого зношення деталей та виникнення непередбачуваних ситуацій на виробництві . Також вода збільшує всмоктування повітря та ймовірність кавітації, а в ізоляційних маслах де волога перевищує допустиму норму, може призвести до передчасного псування масла та електричного пробую. Без відповідних пристроїв та засобів контролю вологості нафти та її продуктів усі перераховані негативні ефекти можуть призвести до серйозних аварій. Точність і надійність систем управління і регулювання технологічними процесами та безпекою роботи промислових установок у нафтовій промисловості визначається за допомогою приладів вимірювання та контролю вологості нафти та нафтопродуктів. Неперервний

контроль води потрібний, що б забезпечувати якість та допустимі межі вологості у нафті та її продуктах.

У нафтовій промисловості вологоміри використовуються: під час вимірювань у свердловинах, виробничих вимірюваннях, а також під час зневоднювання сирової нафти в нафтоосховищах. Також мають відповідати низці вимог:

- бути економічними;
- мати малу вагу;
- невеликі габарити та енергоспоживання;
- бути сумісними з сучасними ЕОМ.

Одним з важливих факторів є забезпечення передачі сигналу на відстань, інколи відбуваються заміри на великій відстані від системи контролю. Але найголовніше - це забезпечення високої точності та чутливості вимірювання.

Набагато більшим діапазоном чутливості можна досягнути через перетворення інформаційного сигналу в частотний. Частотні прилади характеризуються досягненням значно більшої точності вимірювання вологості, ніж при використанні амплітудних сенсорів. Перевагою використання частотної форми вихідного інформаційного сигналу пояснюється його простотою, точністю перетворення в цифровий код, можливістю бездротової передачі на відстань, зручністю при комутації в багатоканальних інформаційно-вимірювальних системах, та завадостійкістю.

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» (2020 р.).

Метою роботи є розробка та дослідження радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів на основі транзисторної структури з

від'ємним опором.

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

– проаналізувати існуючі перетворювачі вологості нафтопродуктів та обґрунтувати переваги частотних перетворювачів вологості на основі напівпровідникових структур з від'ємним опором по відношенню до існуючих;

- розробити фізико–математичну модель ємнісного сенсора вологості нафтопродуктів;

- розробити математичну модель радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів на основі транзисторної структури з від'ємним опором з врахуванням впливу вологості на чутливий ємнісний сенсор та дослідити її характеристики;

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

- розробити мікропроцесорну систему контролю вологості нафтопродуктів з використанням розробленого радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів.

Об'єктом дослідження є процес перетворення вологості нафтопродуктів у частотний сигнал в чутливих напівпровідникових структурах.

Предмет дослідження – статичні та динамічні характеристики радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним опором.

Методи дослідження ґрунтуються на використанні:

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

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

- диференціального та інтегрального числення для створення математичних моделей;

- теорії розрахунку нелінійних електричних кіл з використанням законів Кірхгофа 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 та температури нафтопродуктів, які приводять до зміни електрофізичних параметрів (діелектричної проникності, ємності) та дозволяють визначити значення електричної ємності сенсора вологості.

2) Розглянута математична модель радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів, яка відрізняється від існуючих тим, що в ній враховано вплив вологості нафтопродуктів на частоту коливань автогенераторів з від'ємним опором.

Практичне значення одержаних результатів

1) В результаті математичного моделювання отримано аналітичні вирази для визначення електричної ємності сенсора вологості, які можуть бути використаними для інженерного розрахунку первинних перетворювачів вологості нафтопродуктів;

2) Отримані аналітичні вирази для функції перетворення та чутливості розробленого радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів на основі транзисторної структури з від'ємним опором, які можуть бути використані для інженерного розрахунку радіовимірювальних перетворювачів вологості.

Апробація результатів

Основні положення магістерської кваліфікаційної роботи було апробовано на XLIX науково-технічній конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 18-29 травня 2020 р.

Особистий внесок здобувача

Основні положення і результати магістерської кваліфікаційної роботи отримані автором самостійно.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

Сучасне виробництво потребує точного виконання технології виробництва та широкого застосування автоматизації виробничих процесів. Крім того, стан сучасної вітчизняної економіки суттєво визначається успішним розв'язанням питань створення та освоєння серійного випуску автоматичних засобів технічної діагностики, приладів контролю, систем перевірки якості продукції, контролю параметрів довкілля тощо. Ефективність вищезгаданого комплексу технічних засобів, передусім, залежить від якості первинних перетворювачів, які є основними чутливими органами вимірювальної апаратури [1].

Важливою різновидністю вимірювальних перетворювачів є сенсори вологості. В Україні вимірювання вологості є одним із поширених напрямків вимірювань фізичних величин. Це обумовлено потужним промисловим та науково-технічним потенціалом країни та великим різноманіттям промислових галузей (наприклад, металургія, енергетика, машинобудування тощо), ефективність яких значною мірою залежить від точності вимірювань вологості, температури та інших характеристик. Тому досить важливим завданням сучасного приладобудування та вимірювальної техніки є вибір надійних методів вимірювання вологості стосовно різних виробництв, створення вимірювальних приладів необхідної точності, стабільності та швидкодії, а також дослідження впливів на результат вимірювань всієї сукупності факторів, які супроводжують вимірювальний процес [2, 3].

Проблематика цих питань розглядається у даному розділі.

1.1 Особливості вимірювання вологи у нафтопродуктах

Вода є складовою частиною багатьох органічних та неорганічних матеріалів. Присутність води в матеріалах навіть в невеликій кількості суттєво

впливає на фізико-хімічні та електричні властивості. Для вимірювання вологи важливо знати в якому виді зв'язку перебуває вода з матеріалом. В залежності від форми енергії зв'язку і виду матеріалу волога може бути у вигляді вільної води, капілярно-зв'язаної (фізико-механічний зв'язок), адсорбційно-зв'язаної (фізико-хімічний зв'язок) та хімічно зв'язаної [4].

Найбільш міцно утримується хімічно зв'язана вода. Її молекули входять до складу матеріалу і відділяються лише за допомогою хімічних реакцій. Адсорбційно-зв'язана вода утворюється в результаті впливу молекулярного силового поля. На початковому етапі сорбції на поверхні матеріалу утворюється мономолекулярний шар, що найбільш міцно зв'язаний з поверхнею адсорбенту, даний шар сорбує наступні шари, які є менш зв'язаними. Капілярно-зв'язана вода утворюється в мікрокапілярах поглинанням води з вологого повітря або безпосередньо взаємодією речовини з водою. Причиною виникнення такої форми зв'язку є капілярний тиск, обумовлений кривизною поверхні рідини в капілярах. Така вода отримала назву гігроскопічної [5]. В ряді процесів одна форма зв'язку поступово може переходити в іншу.

Існують різноманітні одиниці вимірювання для визначення вмісту вологи в газоподібних, рідких та твердих середовищах. Так в парогазовій суміші вміст вологи вимірюють в одиницях абсолютної вологості, парціального тиску пари води, об'ємного вологовмісту, відносної вологості, температури точки роси, масовому вологовмісту та молярної частки водяного пару [3, 4, 6, 7].

Абсолютна вологість W_A показує, яка маса водяного пару міститься в 1 м³ газу, вимірюється зазвичай в г/м³ [2]

$$W_A = \frac{m_{H_2O}}{V_{\Gamma}}, \quad (1.1)$$

де m_{H_2O} - маса водяного пару;

V_{Γ} - об'єм газу.

Парціальний тиск водяного пару p_U вимірюється в гектопаскалях (1 ГПа = 100 Па) – це тиск, який міг би мати водяний пар, що входить в склад газової суміші, якщо б він один займав весь об'єм суміші.

Об'ємний вологовміст x (або об'ємна концентрація парів води) визначається як відношення об'єму водяного пару до об'єму газу.

Під масовим вологовмістом r розуміють відношення маси водяного пару до маси сухого газу [2]

$$r = \frac{m_{H_2O}}{m_G}, \quad (1.2)$$

де m_G - маса сухого газу.

Об'ємний та масовий вологовмісти вимірюються в ppm, використовуються для дуже малих концентрацій вологи (1 ppm = 10^{-4} %).

Відносна вологість U - це відношення парціального тиску водяного пару p_U при температурі T до тиску насиченого пару p_S при цій же температурі

$$U = \frac{p_U}{p_S} \cdot 100\%. \quad (1.3)$$

Молярна частка водяного пару S дорівнює відношенню числа молей водяного пару до загального числа молей вологого газу [4].

Під температурою точки роси розуміють T_p , розуміють таку температуру, при ізобарному охолодженні з якої починається конденсація пари води, що міститься в газі [2].

Для визначення вмісту вологи в рідких та твердих матеріалах використовують такі величини як вологість та вологовміст. Існує масовий та об'ємний вологовміст, а також масова та об'ємна вологість.

Під масовим вологовмістом u розуміють відношення маси вологи M , що міститься в матеріалі до маси абсолютно сухого матеріалу M_0 [4]

$$u = \frac{M}{M_0}. \quad (1.4)$$

Під масовою вологістю W розуміють відношення маси води M , що міститься в матеріалі до маси вологого матеріалу M_1

$$W = \frac{M}{M_1} = \frac{M}{M_0 + M}. \quad (1.5)$$

Перехід від масового вологовмісту до масової вологості може бути здійснений за виразом

$$W = \frac{u}{1 + u}. \quad (1.6)$$

В деяких випадках користуються величинами, що характеризують вміст води в одиниці об'єму матеріалу.

Так об'ємна вологість визначається за виразом [4]

$$W_{об} = \frac{M}{V} = \frac{V_B}{V} \rho_B = W\rho, \quad (1.7)$$

а об'ємний вологовміст за виразом [2]

$$u_{об} = \frac{M}{V_0} = \frac{V_B}{V_0} \rho_B = u\rho_0, \quad (1.8)$$

де V, V_0, V_B - об'єм вологого, абсолютно сухого матеріалу та води;

ρ, ρ_0, ρ_B - густина вологого, абсолютно сухого матеріалу та води.

Далі в роботі при проведенні вимірювань буде використовуватись така одиниця вимірювання як масова вологість.

1.2 Сучасні засоби вимірювання вологості

Всі існуючі засоби для вимірювання вологості можна поділити на три великих групи, в залежності від того в яких речовинах ми міряємо вологість: твердих, рідких чи газоподібних. Кількісне визначення та контроль вологості

твердих матеріалів, рідин та газів є необхідним майже у всіх галузях промисловості.

Важливе практичне значення має вимірювання вологості повітря, газів та газових сумішей. Вологість повітря є одним із основних технологічних параметрів у засобах для кондиціонування повітря та вентиляції. Контроль вологості повітря необхідний для створення штучного клімату на робочих місцях та в побуті.

В роботах [8–25] наведені різноманітні засоби для вимірювання і контролю вологості повітря. Так в роботі [13] описано резистивний сенсор вологості оснований на нанокристалах BaNbO_3 . Сенсор має добру чутливість до вологості. Опір зменшується від 932,4 МОм до 2,2 МОм при збільшенні відносної вологості від 10% до 80%. Час реакції і час відновлення сенсора складають 12 с та 32 с при зміні відносної вологості від 20% до 60%. Дослідження нанокристалів BaNbO_3 показали, що вони є чудовим матеріалом для застосування у високоточних засобах для вимірювання вологості. В роботі [14] показано розробку і виробництво керамічного товстоплівкового сенсора вологості, що оснований на MnZn фериті, сенсор на основі плівок нанопористого оксиду алюмінію описаний в роботі [15].

У ємнісних сенсорах вологості вологочутливим шаром в основному є органічні полімери, що змінюють свої фізико-хімічні властивості при сорбції вологи. Органічна полімерна плівка в таких сенсорах може служити або самостійним вологочутливим шаром, або з добавками неорганічних вологочутливих сполук (звичайно солей хлористого літію чи хлористого кальцію) чи негіроскопічних провідних частинок (дрібнодисперсного вуглецю, золота, срібла, паладію та інших).

На рис. 1.1 зображено конструкцію ємнісного сенсора вологості [26], який складається з діелектричної підкладки 1, на якій розташовані електроди 2 з шаром вологочутливого матеріалу 3, причому електроди виготовлені у вигляді сітки.

Сенсор вологості містить два електроди 2, кожен з яких виконаний у вигляді сітки. На діелектричній підкладці 1 розташовані електроди 2, між якими нанесено вологочутливий матеріал 3. При відсутності достатньої для спрацювання сенсора вологи в середовищі стан сенсора вологості залишається незмінним. При наявності в середовищі вологи молекули води проникають у шар вологочутливого матеріалу 3, внаслідок чого стає можливим електричний контакт між електродами 2. В залежності від кількості поглинутої вологи, яка пропорційна вологості середовища, змінюється площа поверхні, що поглинула вологу. Фактично сенсор вологості працює по принципу конденсатора, утвореного електродами 2 і шаром вологочутливого матеріалу 3 між ними.

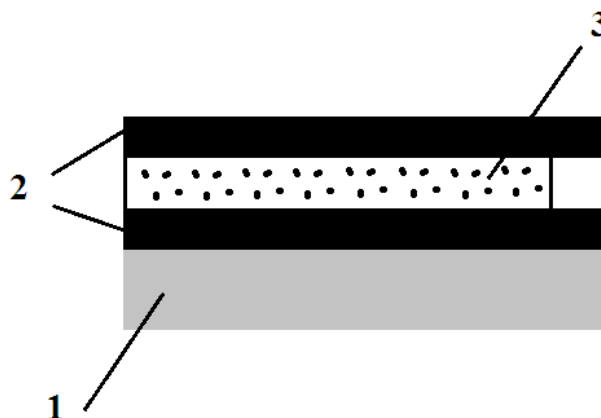


Рисунок 1.1 – Сенсор вологості [26]: 1 – діелектрична підкладка; 2 – електроди; 3 – шар вологочутливого матеріалу

На початку процесу вимірювання вологості відбувається зміна площі поверхні вологочутливого матеріалу 3, тобто збільшується площа електродів 2. Це еквівалентно зміні площі електродів конденсатора утвореного електродами 2 і шаром вологочутливого матеріалу 3. Зміна площі електродів конденсатора приводить до зміни його ємності, величина якої показує вологість середовища.

Після того, як волога буде поглинута всією поверхнею вологопроникного матеріалу 3, ємність утвореного конденсатора змінюватиметься за рахунок матеріалу 3. В цьому випадку ємність утвореного конденсатора змінюється за рахунок зміни діелектричних властивостей ϵ шару вологочутливого матеріалу

3, які змінюються внаслідок абсорбції ним води. Зміна ємності сенсора визначається формулою [26]:

$$\Delta C = \frac{0.0885 \cdot \varepsilon \cdot S(W)}{d(W)}, \quad (1.9)$$

де ε – діелектрична стала;

$S(W)$ – залежність площі сенсора від вологості;

$d(W)$ – залежність товщини сенсора від вологості.

Для вимірювання та контролю вологості газів використовують засоби [26–37]. На рис. 1.2 [37] зображена конструкція волоконно-оптичного гігрометра.

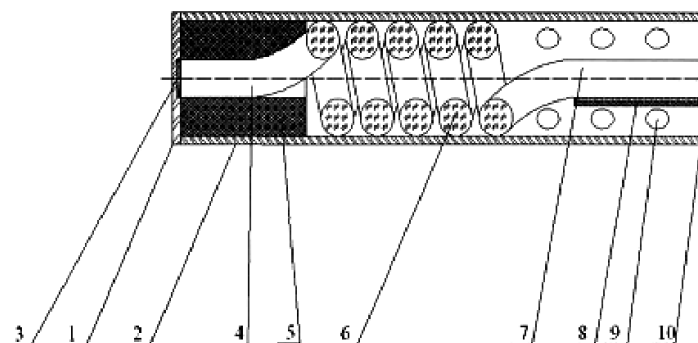


Рисунок 1.2 – Волоконно-оптичний гігрометр [37]: 1 - основа, 2 - скляна трубка, 3 - віддзеркалюючий шар, 4 - перша пряма ділянка основного світловода, 5 - блок з гігроскопічного матеріалу, 6 - спіральна ділянка основного світловода, 7 - друга пряма ділянка основного світловода, 8 - біметалева пластина, 9 -отвори перфорації, 10 – заглушка

Гігрометр працює таким чином. У статичному режимі, тобто при стандартних параметрах навколишнього середовища, у основному світловоді відбувається зменшення інтенсивності оптичного випромінювання, що проходить скрізь нього, яке обумовлене тільки впливом згасання у матеріалі світловода. При зміні вологості відбувається насичення крізь отвори перфорації блока гігроскопічного матеріалу. Завдяки цьому відбувається зміна лінійного розміру як блока, так й спіральної ділянки світловода. Зміна кроку спіралі викликає порушення умов повного оптичного відбивання світла у основному

світловоді. Після втрати частини потужності випромінювання відбивається від віддзеркалюючого шару 3 та надходить у зворотному порядку по ділянкам основного світловода до блока реєстрації. Інтенсивність зареєстрованої частки світла буде пропорційна величині вимірюваної вологості газового середовища.

При зміні температури відбувається адекватна зміна геометрії біметалевої пластини 8. Викликана цим зміна геометрії другої прямої ділянки основного світловода 7 ініціює зменшення або збільшення світлопропускання усього світловода пропорційно коливанню температури. Таким чином забезпечується інваріантність приладу до неконтрольованих впливів [37].

Вимірювання вологості широко використовується і в сільському господарстві. Контроль вологості ґрунтів потрібний для правильного визначення термінів оранки та внесення добрив, а також тривалості поливу [38, 39]. Контроль вологості зерна [40 – 47] та інших сільськогосподарських культур дає змогу правильно організувати технологічний процес зберігання і переробки та запобігти збиткам.

На рис. 1.3 [40] наведено структурну схему перетворювача вологості зерна, яка 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

$$W = a + b \cdot \left(\frac{U_1}{U_{ex1}} - \frac{U_2}{U_{ex2}} \right), \quad (1.10)$$

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

U_{ex1} і U_{ex2} - 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.

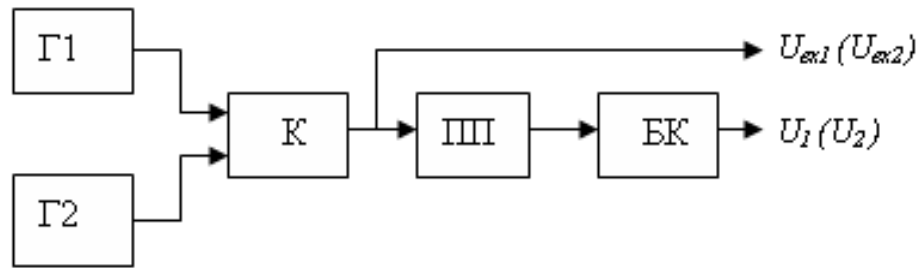


Рисунок 1.3 – Структурна схема вимірювального перетворювача вологості [40]

Гармонічні сигнали f_1 і f_2 однакової амплітуди від генераторів Γ_1 і Γ_2 за допомогою комутатора K по чергово 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).

В будівництві від контролю вологості залежать основні властивості будівельних матеріалів, теплофізичні, теплозахисні характеристики, а відповідно і довговічність, міцність та надійність будівель та конструкцій.

На рис. 1.4. [48] наведено пристрій для вимірювання вологості деревини. Для вимірювання вологості деревини на різній відстані від поверхні досліджуваного зразка пропонується обмежити зону проходження струму в деревині шаром, в якому гальванічний контакт електрода з досліджуваним матеріалом здійснюється тільки на кінці голки, а решта його поверхні ізольована (рис. 1.4).

На основі давача 1 закріплено металеву голку. Голка складається з ділянки стержня 2 та загостреної головки 3. Загострення нижньої частини головки голки забезпечує можливість встромляння давача у деревину. Середня частина головки голки, яка має більший за стержень діаметр, забезпечує щільність контакту голки з деревиною. Збіжність верхньої частини головки сприяє вилученню голки з деревини. На стержень голки надіта тонкостінна трубка з ізоляційного матеріалу 4, яка запобігає протіканню струму до поверхні стержня голки 2.

Встановлення головки давача в досліджуваному матеріалі на заданій глибині зумовлює проходження струму саме у цьому шарі та дає змогу визначення вологості матеріалу на заданій глибині від поверхні. Описані голчасті давачі можливо використовувати для визначення вологості інших твердих матеріалів. Для полегшення користування, діаметр стержня голки вибирають в звичайному діапазоні для кондуктометричних давачів, а саме - 2-3 мм, що зумовлює зусилля встромлення та витягування давача рівними зусиллям для використання голок аналога. Товщина ізоляційної трубки, наприклад з лавсану, зважаючи на невисокий рівень прикладеної до матеріалу напруги, може становити десяті долі міліметра.

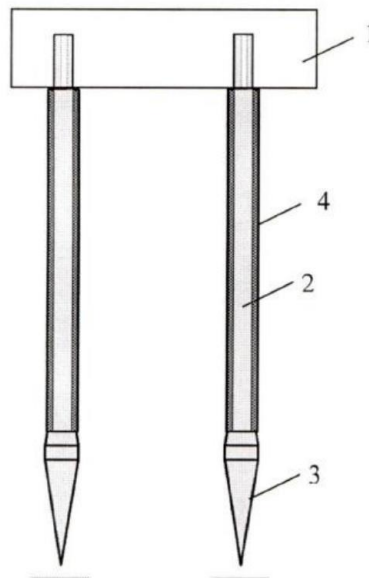


Рисунок 1.4 – Кондуктометричний вологомір деревини [48]: 1 – давач; 2 – стержень; 3 – загострена головка; 4 – ізоляційний матеріал

У промисловості вологість сировини і напівфабрикатів дуже впливає на якість продукції і продуктивність устаткування. У ряді галузей промисловості (текстильній, легкій, харчовій, хімічній та інших) основні технологічні процеси тісно зв'язані зі змінами вологості оброблюваних матеріалів [49].

В роботах [50 – 52] наведені конструкції пристроїв вологості, що використовуються для текстильної галузі промисловості.

В харчовій промисловості використовують вологоміри описані в роботах [5, 53, 54]. На рис. 1.5 [54] зображено вологомір, що містить вимірювальний перетворювач вологості 1, який через суматор 2 з'єднаний з цифровим виходом та аналоговим входом мікроконтролера 4. Вихід генератора частоти 3 підключений до дискретного входу мікроконтролера 4, вихід якого з'єднаний із входом пристрою індикації 5.

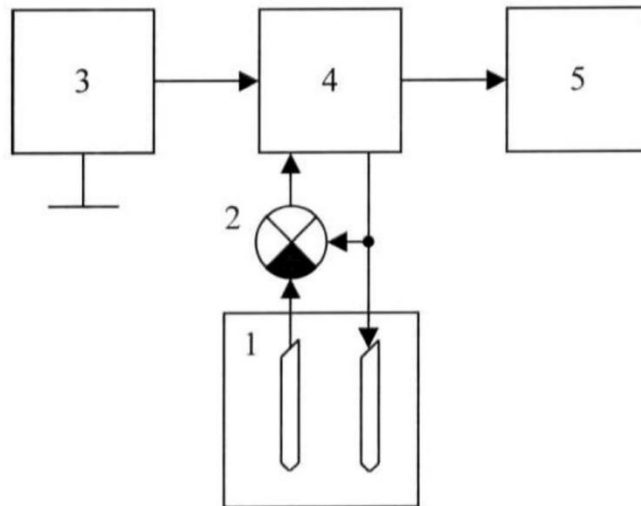


Рисунок 1.5 – Вологомір [54]: 1 – перетворювач вологості; 2 – суматор; 3 – генератор частоти; 4 – мікроконтролер; 5 – пристрій індикації

Вологомір працює наступним чином. Перед початком експлуатації вологоміра проводять його налаштування і градуювання для кожного вимірюваного матеріалу. Градуювання виконується за зразками матеріалу відомої вологості. Для цього в зразок матеріалу заглиблюють на фіксовану глибину загострені пластини вимірювального перетворювача вологості 1. Сигнал з виходу генератора частоти 3 подається на дискретний вхід мікроконтролера 4, звідки через цифровий вихід мікроконтролера 4 цей сигнал подається на одну із пластин вимірювального перетворювача вологості 1, а також на додатній вхід суматора 2. Долаючи електричний опір вологого матеріалу між пластинами вимірювального перетворювача вологості 1, затухаючий сигнал потрапляє через другу пластину вимірювального перетворювача вологості 1 на від'ємний вхід суматора 2. Результуючий сигнал

із виходу суматора 2 потрапляє на аналоговий вхід мікроконтролера 4, що являє собою аналого-цифровий перетворювач, який перетворює аналоговий сигнал у цифровий. Отриманий цифровий сигнал перетворюється програмою мікроконтролера 4 в значення відносної вологості вимірюваного матеріалу і передається для відображення на пристрій індикації 5 [54].

При дослідженні матеріалів органічного походження (деревина й інші рослинні матеріали, тваринна сировина) контроль вологості необхідний майже на всіх етапах технологічного процесу: при збереженні, прийомі, транспортуванні сировини та готової продукції [2].

Найважливіше практичне значення має визначення вологості неводних рідин - вуглеводнів, рослинних і мінеральних масел, нафти і нафтопродуктів, авіаційних і ракетних палив. Контроль вологості нафти необхідний у процесах її видобутку, зберігання, транспортування і переробки. Інформація про вміст пластової води в сирій нафті потрібна для керування процесами її відкачки. У паливах для реактивних двигунів вміст вологи не повинний перевищувати тисячних часток відсотка щоб уникнути небезпек, зв'язаних з утворенням льоду в комунікаціях двигуна. Необхідність контролю вологості рідких палив для ракет, що містять сильні окислювачі, викликана небезпекою корозії деталей, що контактують з паливом.

1.3 Засоби для вимірювання вологості нафтопродуктів та їх класифікація

Підвищення якості продукції, більш повне та раціональне використання сировини відноситься до найбільш актуальних завдань, які стоять перед нафтогазовою промисловістю України. Нафта у чистому вигляді як паливо майже не використовуються, тому що економічно більш вигідно отримувати з нафти бензин, керосин, мазут, масла та інші нафтопродукти. При цьому необхідно контролювати цілий ряд параметрів потрібних для раціонального використання сировини. Так, наприклад, основними параметрами, що

характеризують якість масел є: в'язкість, кислотне число, температура замерзання та загорання, вміст механічних домішок, здатність протидіяти корозії, стабільність до окислення, густина та вміст вологи [55 - 57]. Саме наявність вмісту вологи в маслах викликає зміну фізико-хімічних параметрів масел і тим самим зменшує строк їхньої служби. На даний час існує велика кількість різноманітних засобів для вимірювання та контролю вологості нафтопродуктів [1 – 3], деякі з них вражають своєю високою собівартістю інші ж застарілістю технологій вимірювання. Так, наприклад, в умовах багатьох виробництв вологість в маслах визначають у лабораторіях термогравіметричним та дистиляційним методами, що вимагає значних затрат часу, а отже, робить неможливим автоматизацію технологічного процесу.

Методи визначення вологості бувають прямі та непрямі [5, 113]. В прямих методах відбувається безпосереднє розділення досліджуваного матеріалу на суху речовину та вологу. В непрямих методах відбувається вимірювання величини, що функціонально зв'язана з вологістю [2].

Серед засобів для вимірювання вологості нафтопродуктів основаних на прямих методах можна виділити: термогравіметричні, екстракційні, дистиляційні та хімічні. Найбільш поширеними є термогравіметричні, що базуються на висушуванні зразка в повітряному середовищі, до повного видалення вологи. В дистиляційних засобах відбувається підігрів певної кількості досліджуваного зразка в посудині з наступною конденсацією парів вологи та підрахунку її кількості. Екстракційні засновані на використанні реагентів, які взаємодіють з вологою, що міститься в матеріалі. Хімічні базуються на обробці нафтопродукту реагентом, який вступає в хімічну реакцію лише з водою та забезпечує зневоднення нафтопродукту за рахунок руйнування емульсії, яка утворена водою та нафтопродуктом [2].

Так в роботі [58] розглянуто спосіб кількісного визначення масової та об'ємної частки води за допомогою дистиляційного методу, але нагрів проби в даному випадку відбувається не зовнішнім нагрівальним пристроєм, як це описано в роботі [59], а за рахунок енергії поглинання інфрачервоних променів

водою на довжині хвилі рівній 2,76 мкм. При цьому, волога, що випарувалась виноситься за допомогою продувки. Масову або об'ємну частку вологи у нафтопродукті в даному випадку розраховують по формулам [58]:

$$X = \frac{V_0}{m} \cdot 100, \quad (1.11)$$

$$X_1 = \frac{V_0}{V} \cdot 100, \quad (1.12)$$

де X - масова частка води у відсотках;

X_1 - об'ємна частка води у відсотках;

V_0 - об'єм води виділений із проби;

V - об'єм проби;

m - маса проби.

На відміну від дистиляційного методу обезводнення нафтопродуктів термохімічний метод окрім процесу нагрівання проби включає в себе також і процес введення в нафтопродукт деемульгаторів, які забезпечують зневоднення нафтопродукту за рахунок руйнування емульсії, яка утворена водою та нафтопродуктом.

Загальними недоліками засобів для вимірювання вологості, що основані на прямих методах вимірювання є необхідність відбору та спеціальної підготовки проб матеріалу, періодичність і значна тривалість процесу контролю, тому вони використовуються головним чином у лабораторних дослідженнях.

Засоби для вимірювання вологості на основі непрямих методів вимірювання потребують значно менше затрат часу при визначенні вологості проби, на відміну від прямих методів вимірювання вологості, тому їм віддають перевагу, так як з їх допомогою можна автоматизувати контроль вологості. В даному класі приладів можна виділити такі види, як механічні, оптичні, радіаційні, частотні, діелькометричні і кондуктометричні.

Так, наприклад, механічні прилади для вимірювання вологості засновані на вимірюванні механічних характеристик матеріалів, що змінюються зі зміною його вологості.

Перспективним напрямком на даний час у визначенні вологості нафтопродуктів є оптична вологометрія. Основою якої є здатність вологи поглинати інфрачервоне випромінювання певної довжини хвилі [2]. Найчастіше оптичні прилади для вимірювання та контролю вологи створюються за двоухвильовою схемою, тобто сигнал, що вимірюється фіксує різницю інтенсивності випромінювання двох хвиль: еталонної та досліджуваної [2].

Принцип дії оптичних вологомірів базується на виборчому поглинанні вологою інфрачервоного випромінювання певної довжини хвилі, відбитого від поверхні досліджуваної речовини або випромінювання, яке пройшло через досліджуваний зразок (речовину). Перевагою даних приладів є висока чутливість до вимірювального параметру, низька залежність від температури навколишнього середовища, можливість неперервного контролю та безконтактний спосіб аналізу. Незважаючи на вище перераховані переваги оптичні вологоміри мають і ряд недоліків, а саме високу собівартість, складність конструкцій, але основний недолік полягає в тому, що вологість вимірюється в поверхневому шарі, коли неоднорідність розподілення вологи по поверхні та в досліджуваній речовині, може стати причиною значних похибок вимірювання.

Існує чимало модифікацій засобів вологості принцип дії яких базується на використанні взаємодії іонізованих випромінювань з об'єктом контролю. В роботах [38, 60] дані прилади описані більш детально. Радіаційні прилади для вимірювання вологості використовують різноманітні види ядерних випромінювань (гама-промені, бета-частки, швидкі нейтрони). Серед радіаційних приладів для вимірювання вологості виділяють: рентгенівські, нейтронні та на основі методу ядерного магнітного резонансу (ЯМР). Рентгенівські вологоміри володіють високою чутливістю через сильне

поглинання вологою рентгенівських променів. Принцип дії нейтронних вологомірів ґрунтується на здатності атомів водню уповільнювати рух швидких нейтронів при їх пружному зіткненні. У приладах на основі ЯМР відбувається резонансне поглинання радіочастотної енергії ядрами атомів водню (протонами), що містяться у воді при введенні вологого матеріалу в постійне магнітне поле.

Основними недоліками радіаційних вологомірів є шкідлива дія випромінювання, висока собівартість, а також складність конструкції.

Досить поширеними є кондуктометричні прилади для вимірювання вологості, в яких відбувається зміна питомої провідності (питомого опору) досліджуваного матеріалу при постійному струмі від зміни вологості та діелькометричні вологоміри нафтопродуктів, дія яких ґрунтується на залежності діелектричної проникності і тангенса кута діелектричних втрат від вологості досліджуваного матеріалу. Оскільки діелектрична проникність нафтопродуктів $\varepsilon_H = 2,0 \div 6,0$, а для води $\varepsilon_B = 81,0$, то незначна зміна вологості нафтопродукту призводить до значної зміни результативної діелектричної проникності. Діелькометричні або ємнісні вологоміри в більшості випадків використовуються в якості первинних сенсорів у системах вимірювання і контролю вологості.

Широкого застосування в нафтовій промисловості отримали проточні вологоміри. На рис. 1.6 зображено проточний вимірювач вологості нафтопродуктів, що містить первинний перетворювач, підключений до вимірювального блоку і забезпечений проточним пробовідбірником з вхідним і вихідними патрубками, розміщеними відповідно в трубопроводі високого тиску після емульгатора і в трубопроводі низького тиску; проточний пробовідбірник виконаний у вигляді склянки з боковим отвором, в якому розміщений коаксіальний ємнісний первинний перетворювач, робоча поверхня якого виступає над бічною поверхнею проточного пробовідбірника, який виконаний також з вентиляльною системою продувки і відбору проб [61].

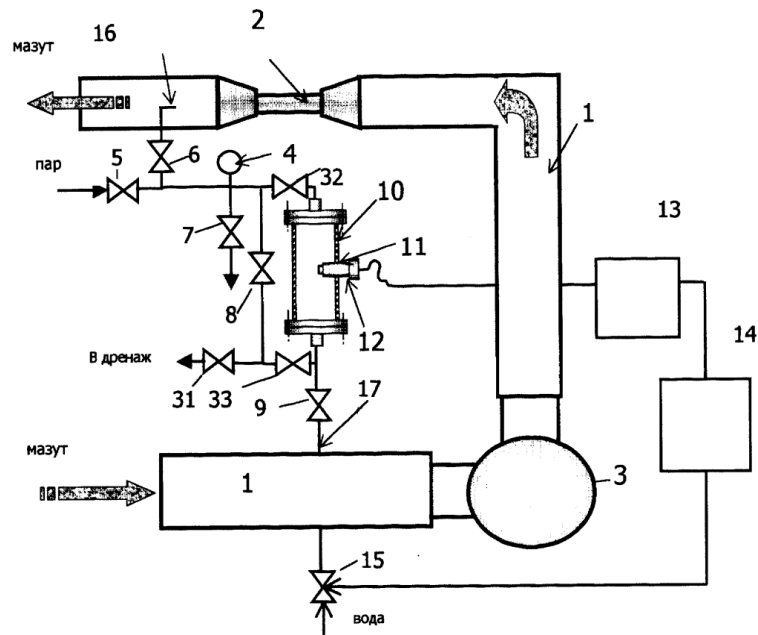


Рисунок 1.6 – Схема проточного вимірювача вологості 1 – магістраль; 2 – емульгатор; 3 – насос; 4 – манометр; 5-9, 15, 31-33 – вентилі; 10 – проточний пробовідбірник; 11 – отвір; 12 – первинний перетворювач; 13 – вимірювальний блок; 14 – регулятор; 16 – вхідний патрубок; 17 – вихідний патрубок

Коаксіальний ємнісний первинний перетворювач виконаний у вигляді кварцової шайби і циліндричного корпусу з фланцем, зовнішньою різьбою і проточкою на робочій поверхні, в порожнині якого розміщений центральний провідник, при цьому кварцова шайба розташована в проточці корпусу між його внутрішньою і зовнішньою поверхнями робочого наконечника центрального провідника, а бічний отвір пробовідбірника виконано різьбою. Технічний результат полягає в підвищенні достовірності, точності і стабільності вихідної інформації вимірювача за рахунок зменшення впливу стінок трубопроводів, водяних "лінз" і налиплого на елементи первинного перетворювача нафтопродуктів на результат вимірювання, локалізації зони контролю.

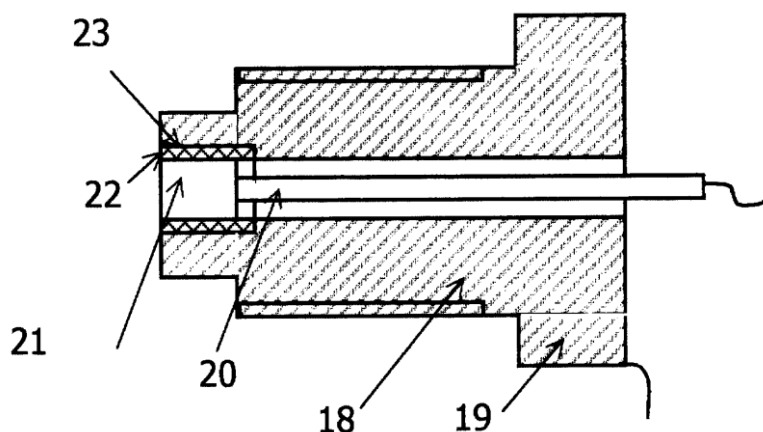


Рисунок 1.7 – Розріз коаксіального ємнісного первинного перетворювача
 18 – корпус; 19 – фланець; 20 – центральний провідник; 21 – робочий
 наконечник; 22 – кварцова шайба; 23 – проточка

Зазначений результат досягається тим, що проточний вимірювач вологості нафтопродуктів, що містить первинний перетворювач, підключений до вимірювального блоку і забезпечений проточним пробовідбірником з вхідним патрубком і вихідним патрубком, розміщеним в трубопроводі низького тиску, забезпечений емульгатором, проточний пробовідбірник виконаний у вигляді склянки з боковим отвором, в якому розміщений коаксіальний ємнісний первинний перетворювач, робоча поверхня якого виступає над бічною поверхнею проточного пробовідбірника, який виконаний також з вентиляційною системою продувки і відбору проб, при цьому вхідний патрубок проточного пробовідбірника розміщений в трубопроводі високого тиску після емульгатора[61].

Пробовідбірник 10 виконаний з боковим отвором 11, в якому розміщений первинний коаксіальний ємнісний первинний перетворювач 12 (далі перетворювач 12), підключений до вимірювального блоку 13. Вихід останнього може бути з'єднаний з входом регулятора 14, який керує роботою регулює запірний клапан 15. Вхідний і вихідний патрубкі пробовідбірника 10 (рис 1.6) позиціями 16 і 17 відповідно.

При цьому вимірювальний блок може бути виконаний у вигляді послідовно з'єднаних опорного генератора, трансформатора й балансового частотного детектора з опорним перетворювачем і вимірювальним коаксіальним ємнісним первинним перетворювачем, включеними в плечі мостової схеми, і вихідними регуляторами нуля і чутливості характеристик.

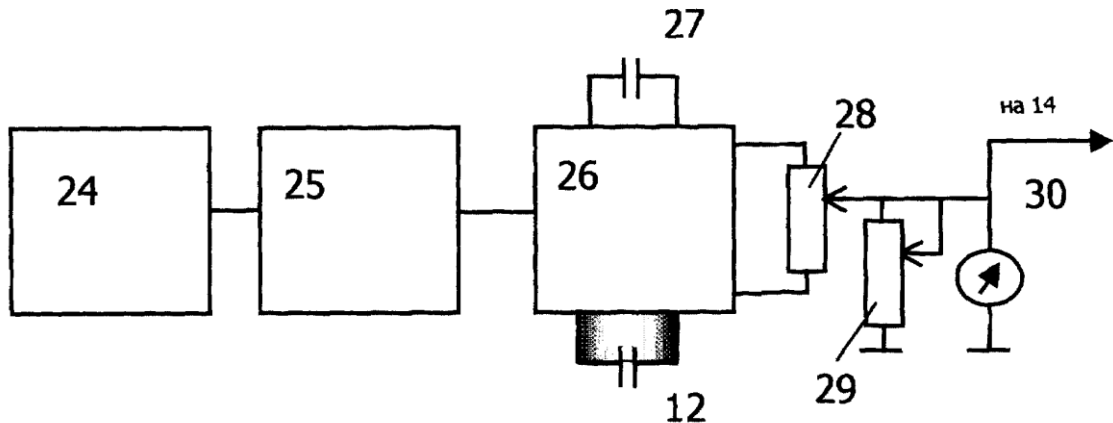


Рисунок 1.8 – Блок-схема вимірювального блоку

12 – первинний перетворювач; 24 – опорний генератор; 25 – трансформатор; 26 – балансно-частотний детектор; 27 – опорний перетворювач; 28, 29 – вихідні резистивні регулятори нуля та чутливості.

Пристрій встановлюється в трубопроводі або магістралі 1 і містить емульгатор (змішувач переважно гідродинамічний кавітаційний) 2, встановлений після насоса 3 в магістралі 1 високого тиску. Манометр 4 підключений, (як показано на рис. 1.6), до системи продувки і відбору проб (до неї, зокрема, відносяться вентилі 6-9) для контролю робочого тиску. Зазначена система забезпечує надходження контрольованого середовища (мазуту, нафти) в проточний циліндричний пробовідбірник 10, його продування паром, пробовідбірник 10 і скидання мазуту в магістраль 1 низького тиску.

Перетворювач 12 (рис. 1.7) утворений проводять корпусом 18 з фланцем 19, в порожнині якого розміщений центральний провідник 20, робочий наконечник 21 якого відділений від корпусу 18 кварцовою шайбою 22, розміщеної в проточці 23 корпусу 18 [61].

Блок 13 утворений послідовно з'єднаними опорним генератором 24, согласуючим трансформатором 25 і балансним частотним детектором 26 з опорним перетворювачем (датчиком місткості) 27 і вимірювальним - перетворювачем 12. Перетворювачі 12 і 27 включені в плечі мостової схеми або детектора 26, виконаного у вигляді ємнісного моста або мостової схеми з вихідними регуляторами нуля і чутливості - резисторами 28, 29 (такий детектор являє собою звичайний ємнісний міст з вихідними регулювальними резисторами). Зрозуміло, в якості вимірювального блоку може бути використаний будь-який відомий блок вимірювання ємності, а в якості детектора 26 - будь-який відомий диференційний частотний детектор, проте використання мостового детектора 26 з вихідними регуляторами нуля і чутливості (резисторами 28, 29) переважно. Перетворювач 12 в процесі вимірювання занурюють в вимірювану середу (мазут). Змінні резистори 28 і 29 забезпечують регулювання нуля шкали і чутливості вимірювального приладу 30, шкала якого проградуєвана у відсотках вмісту вологи в контрольованому середовищі.

Позиціями 31-33 позначені вентиля, що відносяться до системи продувки і відбору проб. Вентиля 5-9, 31-33 цієї системи можуть бути виконані як з ручним, так і з автоматичним управлінням.

У пристрої може використовуватися емульгатор 2 системи приготування водо-мазутних паливної емульсії. Подібні системи встановлюються зазвичай в мазутних господарствах з метою отримання з палива стабільної емульсії, що дозволяє утилізувати воду, виключає потрапляння "лінз" води на форсунки котлоагрегатів, сприяє зниженню шкідливих викидів в атмосферу. Алгоритм роботи регулятора 14 визначається в цьому випадку заданим вмістом води V в паливі: вихідний сигнал U регулятора 14 дорівнює різниці $V-T$, де T - вихідний сигнал блоку 13, що дорівнює поточному утриманню вологи в мазуті [61].

Пристрій працює наступним чином. У робочому режимі мазут з магістралі 1 насосом 3 нагнітається в магістраль 1. Емульсоване паливо з виходу емульгатора 2 через патрубков 16 і відкриті вентиля 6, 32 надходить в

пробовідбірник 10, звідки через вентиль 9 зливається в магістраль 1. Вентилі 5, 7, 8, 33 і 31 при цьому закриті. При проходженні вологого мазуту через порожнину пробовідбірника 10 змінюється ємність перетворювача 12. В результаті розбалансує бруківка схема детектора 26 і по шкалі приладу 30 оператор може зробити відлік. Сигнал з виходу блоку 13 може через регулятор 14 подаватися також на керуючий вхід клапана 15, що регулює подачу води в магістраль 1 таким чином, щоб її загальна кількість дорівнювала заданому.

Одночасно оператор фіксує показання манометра 4: наявність тиску на вході пробовідбірника 10 означає, що показання вимірювача вологості істинні, так як в магістралі 1 і, отже, в пробовідбірнику 10 мазут є і він рухається. Відкривши вентиль 7, оператор має можливість відібрати контрольну пробу мазуту, нафти на вході пробовідбірника 10. Вентиль 8 дозволяє направити мазут, нафту повз пробовідбірника 10, а відкриваючи вентилі 5, 8 і 31 і закриваючи вентилі 6, 9, 32, 33, оператор має можливість продути паром відповідні ділянки трубопроводу[61].

Конструкція вимірювача забезпечує контроль вологості нафти та нафтопродуктів в широкому діапазоні, а також виключає недостовірні показання внаслідок попадання на датчик великих включень води, налипання "пробок" нафтопродуктів та нафти, відсутності витрат контрольованого середовища. При цьому висока точність показань забезпечується розташуванням коаксіального датчика в потоці контрольованого середовища і на видаленні від провідних стінок. У той же час пропонується вимірювач простий і надійний в експлуатації.

На рис. 1.9 зображено прилад для виміру складу води у водо-нафтовій емульсії. Даний прилад містить пробозабірну циліндричну посудину 1, нагрівач, виконаний у вигляді "теплової труби" і складається з ємності 2, всередині якої розміщений нагрівальний елемент 3 (ТЗІ), з'єднаний за допомогою трубки 4 з циліндричним кожухом 5, що охоплює зовні пробо - забірної циліндр 1, датчик тиску 6, електрично пов'язаний через перетворюючі блок 7 з обчислювальним блоком 8, пристосування для вимірювання рівня

водної фази емульсії і нафти, що включає датчик 7, електрично пов'язаний через перетворюючий блок 10 з обчислювальним блоком 8, датчик температури 11, електрично пов'язаний через перетворюючі блок 12 з нагрівальним елементом 3, кран 13 для зливу рідини. Крім того, всередині пробо - забірної циліндричної посудини 1 розміщений датчик для вимірювання електричної провідності (електричного опору) 14, електрично пов'язаний через перетворюючі блок 15 (вимірювач електричної провідності з пристосуванням для сполучення вимірювача провідності з контролером) з обчислювальним блоком 8. У пам'яті обчислювального блоку 8 введена залежність питомої електричної провідності водної фази водонефтяної емульсії від щільності водної фази. Ця залежність будується на основі експериментальних або розрахованих за відповідними алгоритмами даних.

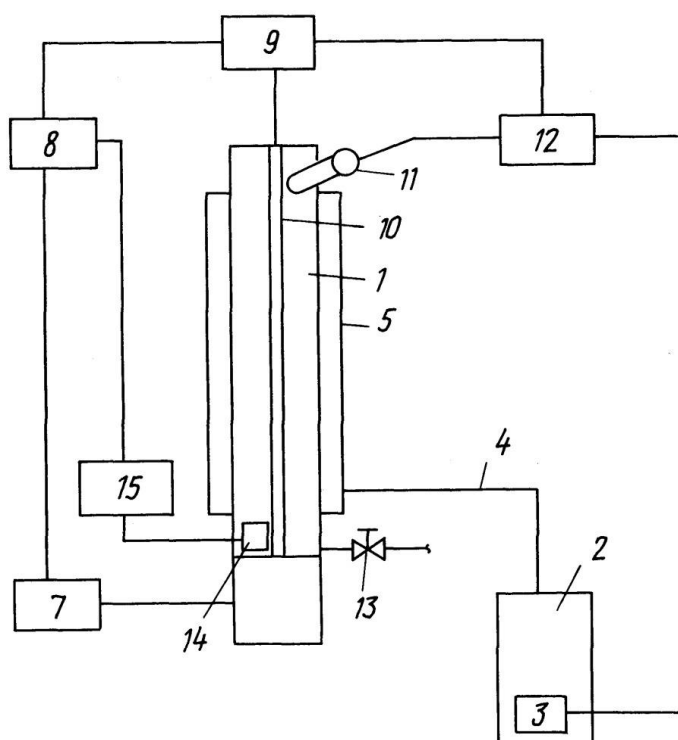


Рисунок 1.9 – Прилад для виміру складу води в водо-нафтовій емульсії

Прилад працює таким чином - пробо-забірну посудину 1 з відібраною пробкою встановлюють всередину циліндричного кожуха 5, додають в разі необхідності хімічні реагенти для прискорення процесу поділу емульсії на компоненти (водну і нафтові фази), перемішують рідину і включають

нагрівальний елемент 3. Після закінчення заданого часу автоматично відключають нагрівальний елемент 3 при температурний датчик 11 і перетворювального блоку 12. вимірюють рівні нафти і води, визначають тиск стовпа рідини, що впливає на датчик тиску, вимірюють діелектричну провідність водної фази емульсії. В обчислювальному блоці обчислюють процентний вміст води в водо-нафтовій емульсії по формулі

$$\% \text{ води} = \frac{V_B}{V_B + V_H} * 100\% , \quad (1.13)$$

де $V_B = 0,785D * H_B$ – об'єм водної фази емульсії, см;

D - діаметр пробо забірною циліндра, см;

$V_H = 0,785D * H_H$ - об'єм нафтової фази емульсії, см.

Щільність нафти, що входить до складу емульсії визначають по формулі:

$$\text{густина нафти} = \frac{P * H_B * P_B}{H_H} , \quad (1.14)$$

де P - тиск стовпа рідини, що фіксується датчиком тиску, г / см;

P_B - щільність води, яка визначається за функціональною залежністю між щільністю води і її електричною провідністю, що отримана експериментальним або розрахунковим шляхом, г / см;

H_B - рівень водної фази;

H_H - рівень (довжина стовпа нафти) нафтової фази, см.

В частотних приладах (рис. 1.10) для вимірювання вологості забезпечується можливість досягнення значно більших точностей вимірювання, ніж при використанні амплітудних сенсорів, а також цифрових пристроїв. Так зразкові міри частоти можна виконати зі значно більшою стабільністю, ніж зразкові міри електричної напруги або струму. Перевага використання частотної форми вихідного інформативного сигналу пояснюється його простотою та точністю перетворення в цифровий код, зручністю при комутації в багатоканальних інформаційно-вимірювальних системах, підвищеною

завадостійкістю внаслідок слабкої чутливості частотно-модульованого сигналу до наводок та завад.

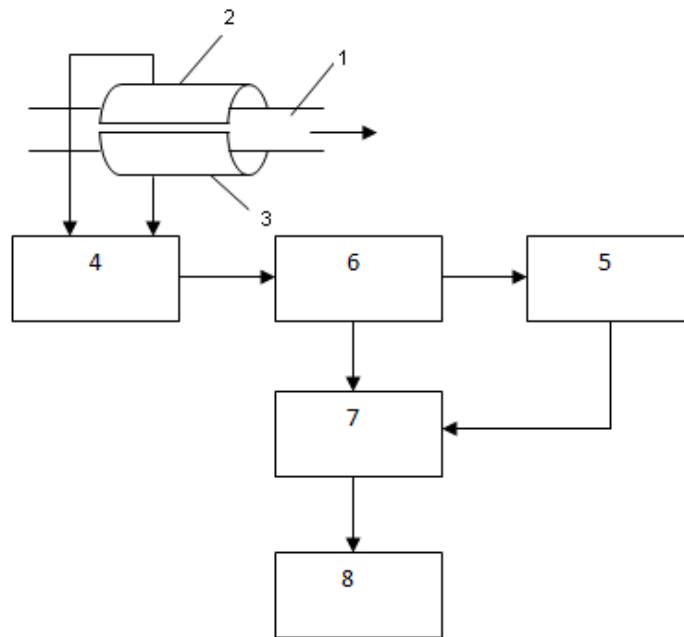


Рисунок 1.10 – Пристрій для визначення води в нафті [62]: 1 – трубопровід; 2, 3 - електроди конденсатора; 4 – керований генератор; 5 – опорний генератор; 6 – змішувач; 7 – фільтр нижніх частот; 8 – частотомір

З вище сказаного можна легко зробити висновок, що поєднання переваг перетворювачів вологості ємнісного типу з перевагами частотних засобів контролю вологості є перспективним на сьогоднішній день і дозволяє значно підвищити точність та чутливість вологомірів нафтопродуктів.

Новим напрямком в розробці та створенні вологомірів нафтопродуктів є дослідження в області радіовимірвальних перетворювачів вологості нафтопродуктів з волого чутливими ємнісними сенсорами, з використанням в якості автогенераторів транзисторних структур з від'ємним опором. Даний напрямок поєднує в собі багатофункціональність і простоту радіоелектронних пристроїв на основі структур з від'ємним опором [63] та переваги ємнісних первинних сенсорів вологості нафтопродуктів над іншими первинними сенсорами вологості. У якості ємнісного первинного сенсора вологості нафтопродуктів пропонується використовувати вологочутливі конденсаторні циліндричні структури (КЦС), що дозволить вимірювати вологість нафти у

потоці під час її видобутку. На рис. 1.11, що в додатку Б (08-36-МКР.010.00.000Е1), зображено запропоновану структурну схему приладу для вимірювання вологості нафти та нафтопродуктів, яка складається з радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів (РВН), блоку цифрової обробки інформації та блоку виведення інформації. РВН в свою чергу складається з вологочутливої КЦС та частотного генератора на основі від'ємного опору (ЧГВО).



Рисунок 1.11 – Структурна схема приладу для вимірювання та контролю вологості нафти та нафтопродуктів

В якості вторинного приладу обробки для вологочутливих КЦС можуть використовуватись різноманітні вимірювальні ланцюги. Проте оскільки величина ємності при вимірюванні малих значень вологості є досить мала – стає очевидним необхідність застосування високочутливих вторинних приладів. Одним з таких приладів, що дозволяють досягнути високої чутливості при збереженні низької собівартості є ЧГВО.

В якості вторинного приладу обробки можна було б також використовувати класичні аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП), однак останні мають ряд недоліків. Так, АЦП ускладнюють конструкцію, суттєво знижують собівартість систем контролю та управління, не завжди задовольняють висунутим вимогам по точності та надійності. Відмова від

використання АЦП дозволяє уникнути похибок класичного аналогово-цифрового перетворення (похибок вибірки та квантування).

Таким чином пропонується прилад (рис. 1.11) з наступним принципом роботи: зміна вологості вимірювального розчину приводить до зміни сумарної діелектричної проникності вологочутливої КЦС, що впливає на її ємність, яка в свою чергу змінює еквівалентну ємність ЧГВО, що і призводить до зміни частоти вихідних коливань. Таким чином отримується залежність між вимірюваним параметром – вологістю нафтопродуктів, та вихідною частотою вимірювального приладу. Сигнал з вимірювального приладу «оцифровується» у блоці цифрової обробки інформації. Також в блоці цифрової обробки відповідному значенню частоти присвоюється відповідне значення вологості, що передається на блок виведення інформації. При перевищенні контролюемого значення вологості нафтопродукту на блоці виведення інформації відображається повідомлення про збільшення вмісту вологості. Особливо хочеться підкреслити, що застосування даного приладу надає змогу отримати частотний сигнал, що при необхідності, може бути ефективно переданий по безпроводному каналу на відстань. Наприклад з середини технологічного приміщення до операторної.

На основі проведеного аналізу літературних джерел, можна зробити висновок, що розробка та створення РВН на основі КЦС забезпечить високу стабільність та точність, малі габаритні розміри, масу та енергоспоживання, високу чутливість до вимірювального параметру, технологічну сумісність з мікроелектронними засобами обробки інформації та низьку собівартість.

На рис. 1.12. наведено уточнену класифікацію приладів для вимірювання вологості нафтопродуктів. З даної класифікації видно, що одне із провідних місць займають радіовимірювальні перетворювачі вологості нафтопродуктів на основі КЦС, але поведінка таких структур в широкому діапазоні частот від зміни режимів живлення, впливу вологості, температури та інших факторів навколишнього середовища недостатньо дослідженні, тому вони потребують подальшого теоретичного та експериментального дослідження.

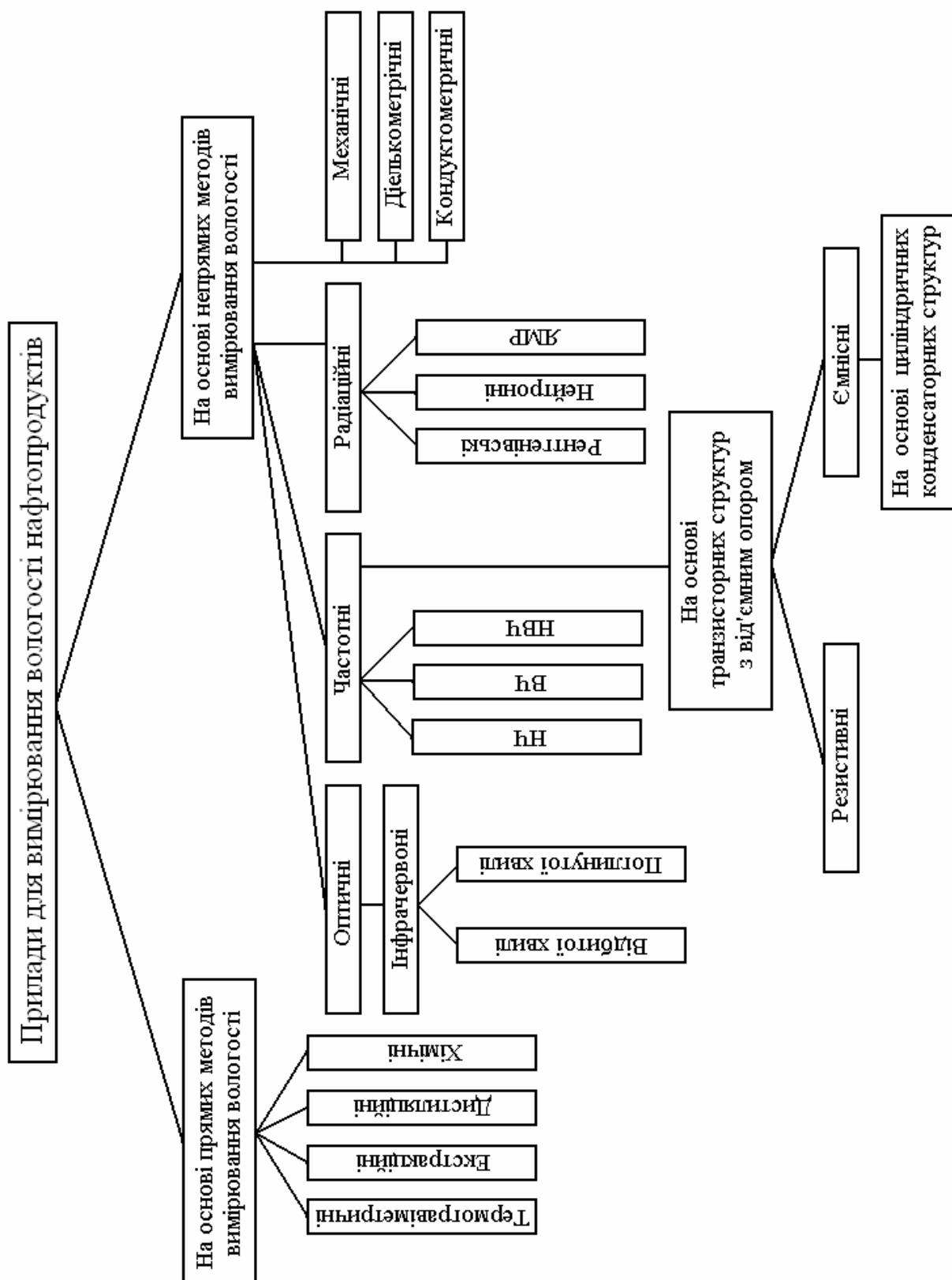


Рисунок 1.12 – Класифікація приладів для вимірювання вологості нафтопродуктів

1.4 Висновки до розділу 1

1. Аналіз існуючих засобів та пристроїв контролю вологості нафтопродуктів показав, що створення та використання радіовимірювальних перетворювачів вологості нафтопродуктів на основі конденсаторних циліндричних структур, з використанням в якості автогенераторів транзисторних структур з від'ємним опором, що працюють за принципом "вологість нафтопродуктів - частота" є перспективним науковим напрямком, оскільки він реалізує високі економічні та метрологічні показники пристроїв і можливість технологічної сумісності з мікроелектронними пристроями обробки інформації. Використання від'ємного опору напівпровідникових приладів компенсує втрати в коливальному контурі, що значно підвищує чутливість приладів для вимірювання вологості нафтопродуктів та їх точність до вимірюваного параметру - вологості нафтопродуктів.

2. Практична реалізація, побудова і промислове освоєння радіовимірювальних перетворювачів вологості нафтопродуктів на основі конденсаторних циліндричних структур можливе тільки при створенні необхідної теоретичної бази (розробка математичних моделей, в яких буде враховано фізичні процеси, що протікають у вологочутливих конденсаторних циліндричних структурах та автогенераторних засобах, методів побудови, експериментальної перевірки і апробації нових технічних рішень).

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

2 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРВИННОГО СЕНСОРУ ВОЛОГОСТІ

2.1 Сучасні первинні перетворювачі вологості нафтопродуктів

Серед вологочутливих сенсорів досить поширеними є кондуктометричні, в яких відбувається зміна питомої провідності (питомого опору) досліджуваного матеріалу при постійному струмі від зміни вологості [64] та діелькометричні вологоміри нафтопродуктів [65], дія яких ґрунтується на залежності діелектричної проникності і тангенса кута діелектричних втрат від вологості досліджуваного матеріалу. Оскільки діелектрична проникність нафтопродуктів $\varepsilon_H = 2,0 \div 6,0$, а для води $\varepsilon_B = 81,0$, то незначна зміна вологості нафтопродукту призводить до значної зміни результативної діелектричної проникності. Діелькометричні або ємнісні вологоміри в більшості випадків використовуються в якості первинних сенсорів у системах вимірювання і контролю вологості.

Перевагою ємнісних сенсорів, над кондуктометричними є те, що їх можна легко пристосувати до радіовимірювального перетворювача змінюючи тим самим його еквівалентну ємність і тим самим збільшити чутливість та точність вимірювального засобу.

Більш детально ємнісні вологоміри нафтопродуктів описані в роботі [2]. Так, в роботі [66] ємнісний сенсор вологості нафтопродуктів складається з системи V-подібних та трапецієподібних електродів з гідрофобним покриттям, яка закріплена між двома діелектричними кільцями. Причому пластини трапецієподібної форми дозволяють створити жорстку конструкцію системи електродів, тому що з'єднані парами таким чином, щоб у місці прилягання пластин кожної пари зазор між пластинами був відсутній. На рис. 2.1 показано переріз ємнісного сенсора вологості нафтопродуктів [66].

Під час руху потоку рідини через ємнісний сенсор вона заповнює простір між електродами позитивної та негативної полярності. Це викликає зміну діелектричної проникності, що приводить до зміни ємності сенсора вологості.

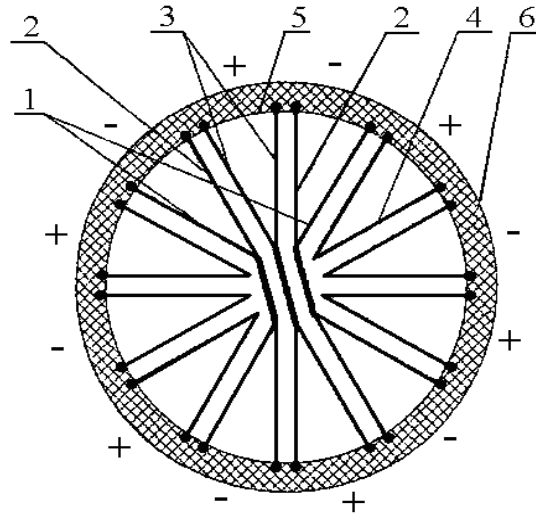


Рисунок 2.1 – Ємнісний сенсор вологості: 1,3 – трапецієподібні електроди; 4 – V-подібні електроди; 5 – внутрішнє діелектричне кільце; 6 – зовнішнє діелектричне кільце

На відміну від ємнісного сенсора вологості, запропонованого в роботі [66], сенсор вологості, що запропонований в роботі [67], має більшу чутливість до вимірювального параметра за рахунок використання більшої площі активної поверхні електродів. Він являє собою систему електродів з гідрофобним покриттям, закріплену всередині двох однакових діелектричних кілець, розміщених на різних кінцях системи електродів. Причому система електродів складається з плоских пластин однакової довжини та різної ширини, де кожна пластина жорстко закріплена на двох діелектричних перемичках. На рис. 2.2 показано переріз ємнісного сенсора вологості нафтопродуктів. Робота цього пристрою реалізується за рахунок зміни діелектричної проникності ємнісного сенсора вологості під час руху потоку нафтопродукту через сенсор. Довжина системи електродів ємнісного сенсора складає 100 мм, відстань між електродами – 5 мм. Зовнішній діаметр діелектричних кілець – 98,5 мм, а

внутрішній – 85 мм. Початкова ємність сенсора, заповненого повітрям, складає 220 пФ.

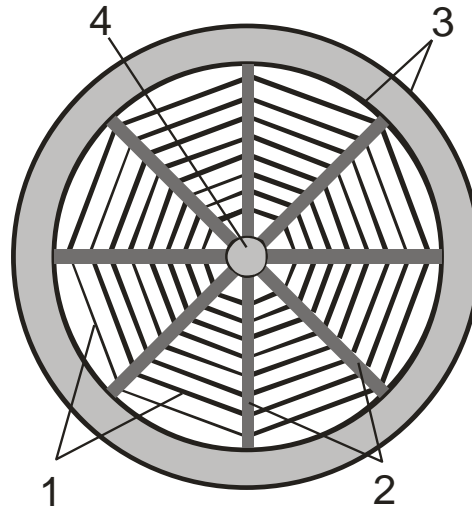


Рисунок 2.2 – Ємнісний сенсор вологості: 1 – система електродів; 2 – перемички; 3 – діелектричні кільця; 4 – вісь малого радіусу

На рис. 2.3 зображено конструкцію первинного перетворювача вологості нафтопродуктів адаптивного вологоміра, що складається з системи електродів з гідрофобним покриттям 1. Система електродів з гідрофобним покриттям 1 жорстко закріплена на внутрішній поверхні двох однакових діелектричних кілець 2, 3, розташованих на різних її кінцях, і на зовнішній поверхні двох однакових внутрішніх діелектричних кілець 4, 5. Система електродів з гідрофобним покриттям 1 електрично розділена на три вимірювальні зони, причому у міжелектродний простір електродів першої вимірювальної зони уведено першу групу металевих пластин 6 однакової товщини, довжина яких дорівнює довжині системи електродів з гідрофобним покриттям. Зовнішні і внутрішні грані першої групи металевих пластин 6 закріплено на внутрішній поверхні двох однакових діелектричних кілець 2, 3 і на зовнішній поверхні двох однакових внутрішніх діелектричних кілець 4, 5. У міжелектродний простір другої вимірювальної зони уведено другу групу металевих пластин 7 з

товщиною, у два рази більшою ніж товщина першої групи металевих пластин 6. Зовнішні і внутрішні грані другої групи металевих пластин 7 також закріплено на внутрішній поверхні двох однакових діелектричних кілець 2, 3 і на зовнішній поверхні двох однакових внутрішніх діелектричних кілець 4, 5. Простір третьої вимірювальної зони залишено вільним від металевих пластин [68].

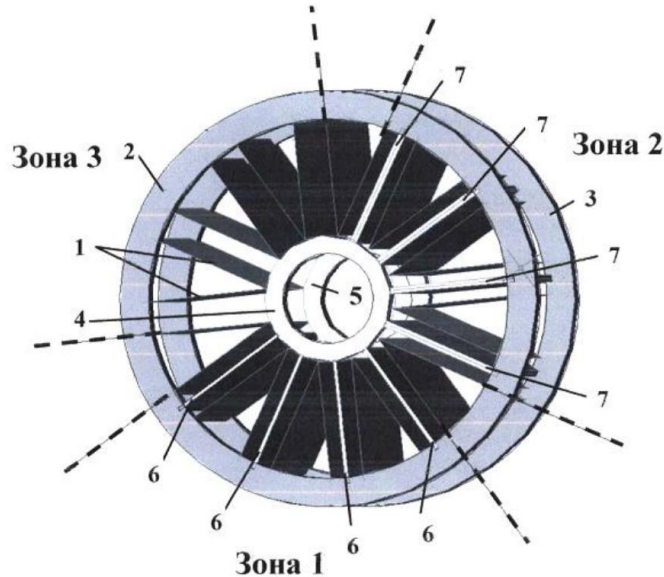


Рисунок 2.3 – Первинний перетворювач вологості [68]: 1 – система електродів; 2,3 – зовнішні діелектричні кільця; 4,5 – внутрішні діелектричні кільця; 6 – перша група металевих пластин; 7 – друга група металевих пластин

Пристрій працює наступним чином. Під час руху потоку рідини через первинний перетворювач вологості нафтопродуктів адаптивного вологоміра досліджувана рідина заповнює простір між електродами системи електродів з гідрофобним покриттям 1. Шляхом вимірювання електричної ємності електродів третьої вимірювальної зони отримуємо перший відлік у формі електричної ємності C_1 , значення якої функціонально пов'язане із вмістом води досліджуваної рідини. Шляхом вимірювання електричної ємності електродів першої вимірювальної зони отримуємо другий відлік у формі електричної ємності $C_2 > C_1$. Уведення в міжелектродний простір електродів першої вимірювальної зони першої групи металевих пластин 6 однакової товщини дозволило здійснити перший тестовий вплив на досліджуваний

нафтопродукт, що імітує додавання у досліджувану рідину фіксованого об'єму води. Шляхом вимірювання електричної ємності електродів другої вимірювальної зони отримуємо другий відлік у формі електричної ємності $C_3 > C_2$. Уведення в міжелектродний простір електродів другої вимірювальної зони другої групи металевих пластин 7 з товщиною, у два рази більшою ніж товщина першої групи металевих пластин 6, дозволило здійснити другий тестовий вплив на досліджуваний нафтопродукт, що імітує додавання у досліджувану рідину фіксованого об'єму води, у два рази більшого, ніж у попередньому випадку.

Таким чином, первинний перетворювач вологості нафтопродуктів адаптивного вологоміра забезпечує можливість експериментального визначення трьох відліків вимірювання електричної ємності C_1 , C_2 , C_3 , що відтворюють фрагмент його статичної характеристики перетворення. Здійснивши апроксимацію цього фрагменту статичної характеристики перетворення, наприклад, методом найменших квадратів, можна обчислити результат вимірювання вологості досліджуваної рідини [68]:

$$W = a \frac{0,17(C_1 + C_3) - 0,33C_2}{C_3 - b},$$

де a , b - відомі масштабні коефіцієнти.

Граничне значення невизначеності запропонованого первинного перетворювача вологості нафтопродуктів адаптивного вологоміра від зміни сорту досліджуваної рідини складає максимум 2 %.

Ємнісні вологоміри нафтопродуктів, описані в роботах [66–68], можуть бути використані в якості первинних сенсорів у системах вимірювання і контролю вологості. Широке використання первинних перетворювачів вологості ємнісного типу пояснюється їх простотою у використанні та низькою собівартістю.

З вищесказаного можна легко зробити висновок, що поєднання переваг перетворювачів вологості ємнісного типу (конденсаторних циліндричних структур) з перевагами частотних засобів контролю вологості є перспективним

на сьогоднішній день і дозволяє значно підвищити точність та чутливість вологомірів нафтопродуктів.

2.2 Фізико-математична модель первинного сенсору вологості нафтопродуктів

На даний час вимірювання вологості є одним із поширених напрямків вимірювань. Це обумовлено потужним промисловим та науково-технічним потенціалом країни з переважним розвитком таких галузей, як металургія, енергетика, машинобудування, авіаційна та космічна техніка, хімічна та нафтогазова промисловість, ефективність яких значною мірою залежить від точності вимірювань вологості. Тому створення даного класу приладів є актуальною технічною задачею. Суттєве значення має вимірювання та контроль вологості нафти, масел та нафтопродуктів. Контроль вологості нафти необхідний у процесах її видобування, зберігання, транспортування та переробки [2]. Саме наявність вмісту вологи в нафтопродуктах викликає зміну їх фізико-хімічних параметрів і тим самим зменшує строк їхньої служби.

На рис. 2.4, наведено запропоновану конструкцію вологочутливої КЦС, що являє собою систему електродів, які виконані у вигляді циліндричних пластин різного діаметру та закріплені у діелектричній труб. Система електродів 1 міцно з'єднана хрестоподібними діелектричними фіксаторами електродів 2 і 3, які прикріплено до діелектричної труби 4. Довжина системи електродів вологочутливої КЦС складає 45 мм. Зовнішній діаметр діелектричної труби має 50 мм.

Вологочутлива КЦС з циліндричними електродами працює таким чином. Під час руху потоку рідини через діелектричну трубу, в якій знаходиться вологочутлива КЦС з циліндричними електродами, рідина заповнює простір між електродами позитивної та негативної полярності, які жорстко закріплені хрестоподібними діелектричними фіксаторами електродів. Це викликає зміну діелектричної проникності, що призводить до зміни ємності вологочутливої КЦС з циліндричними електродами.

Якщо матеріал складається із суміші компонентів з різною діелектричною проникністю, то загальну поляризацію матеріалу можна знайти як суму поляризацій компонентів [2]. У нашому випадку для знаходження загальної діелектричної проникності $\varepsilon_{заг}$ потрібно врахувати діелектричну проникність гетерогенної суміші води та нафтопродукту ε_c у якій частинки розміщені хаотично та діелектричну проникність полімеру ε_n .

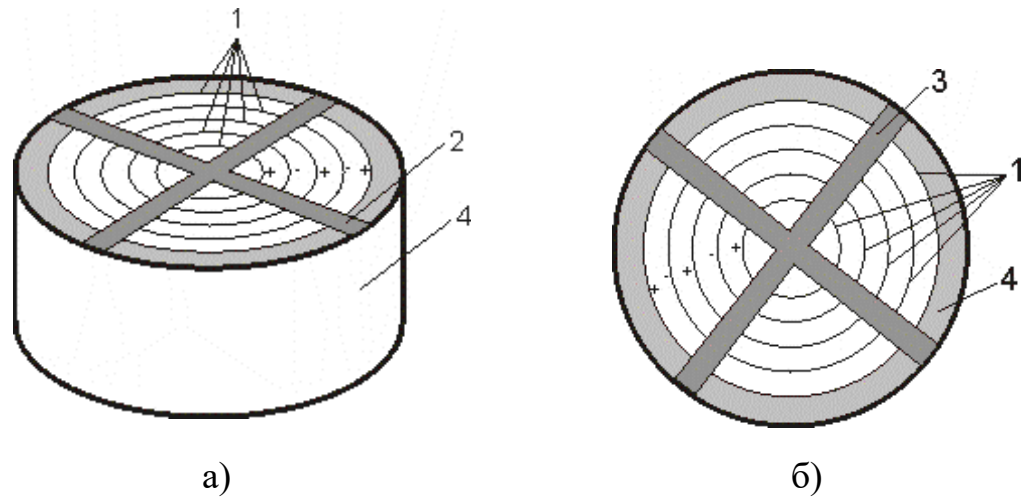


Рисунок 2.4 – Вологочутлива КЦС з циліндричними електродами для вимірювання вологості нафтопродуктів а) загальний вигляд, б) вид знизу: 1 – система електродів; 2, 3 – хрестоподібні діелектричні фіксатори електродів; 4 – діелектрична труба

Для цього визначимо спочатку діелектричну проникність гетерогенної суміші води та нафтопродукту ε_c . Молекули води виступають як дисперсна фаза, а дисперсним середовищем відповідно є нафтопродукт. Для проведення оцінки діелектричної проникності гетерогенної суміші води та нафтопродукту ε_c запропоновано емпіричне рівняння Бругемана [2]

$$\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_c}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} = (1 - \alpha) \cdot \sqrt[3]{\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_2}}, \quad (2.1)$$

де ε_1 – діелектрична проникність води;

ε_2 – діелектрична проникність нафтопродукту;

α - об'ємна концентрація води;

ε_c - діелектричну проникність гетерогенної суміші води та нафтопродукту.

Вода належить до речовин, які здатні поляризуватись, тому для визначення значення діелектричної проникності води скористаємось комплексною діелектричною проникністю води [2]

$$\varepsilon_1^* = \varepsilon_1' - j(\varepsilon_1' \cdot \operatorname{tg} \delta_1), \quad (2.2)$$

де ε_1^* - комплексна діелектрична проникність води;

ε_1' - дійсна складова комплексної діелектричної проникності води;

$\operatorname{tg} \delta_1$ - тангенс кута діелектричних втрат води.

Дійсна складова комплексної діелектричної проникності води ε_1' та тангенс кута діелектричних втрат $\operatorname{tg} \delta_1$ в свою чергу розраховуються з рівнянь

$$\varepsilon_1' = \varepsilon_{O1} + \frac{\varepsilon_{C1} - \varepsilon_{O1}}{1 + (\omega \tau_1)^2}, \quad (2.3)$$

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{(\varepsilon_{C1} - \varepsilon_{O1}) \cdot \omega \tau_1}{\varepsilon_{C1} + \varepsilon_{O1} \cdot (\omega \tau_1)^2}, \quad (2.4)$$

де ε_{O1} - оптична діелектрична проникність води;

ε_{C1} - статична діелектрична проникність води;

ω - частота електричного поля, Гц;

τ_1 - час релаксації молекул води, с.

Релаксаційні втрати води визначаються з рівняння [2]

$$\tau_1 = \frac{4\pi\eta_1 a_1^3}{kT}, \quad (2.5)$$

де η_1 - коефіцієнт динамічної в'язкості води, Па·с;

a_1 - радіус молекули води, м;

k - стала Больцмана, Дж/К;

T - температура, К.

Коефіцієнт динамічної в'язкості води визначається, як добуток коефіцієнта кінематичної в'язкості на густину води [2]

$$\eta_1 = \nu_1 \cdot \rho_{H_2O}, \quad (2.6)$$

де ν_1 - коефіцієнт кінематичної в'язкості води, м²/с;

ρ_{H_2O} - густина води, кг/м³.

Коефіцієнт кінематичної в'язкості води та густина води в свою чергу визначаються з емпіричних рівнянь [2]

$$\nu_1 = \frac{\nu_{01}}{1 + 0,0337 \cdot (T - T_0) + 0,000221 \cdot (T - T_0)^2}, \quad (2.7)$$

$$\rho_{H_2O} = \frac{995,7}{0,984 + 0,483 \cdot 10^{-3} (T - T_0)}, \quad (2.8)$$

де ν_{01} - коефіцієнт кінематичної в'язкості води при температурі T_0 , м²/с;

T_0 - температура рівна 273 К.

Знайдемо модуль комплексної діелектричної проникності води

$$\varepsilon_1 = \sqrt{(\varepsilon_1')^2 + (\varepsilon_1' \cdot \operatorname{tg} \delta_1)^2}. \quad (2.9)$$

Для визначення значення діелектричної проникності нафтопродукту скористаємось комплексною діелектричною проникністю нафтопродукту

$$\varepsilon_2^* = \varepsilon_2' - j(\varepsilon_2' \cdot \operatorname{tg} \delta_2), \quad (2.10)$$

де ε_2^* - комплексна діелектрична проникність нафтопродукту;

ε_2' - дійсна складова комплексної діелектричної проникності нафтопродукту;

$\operatorname{tg} \delta_2$ - тангенс кута діелектричних втрат нафтопродукту.

Дійсна складова комплексної діелектричної проникності нафтопродукту ε_2' та тангенс кута діелектричних втрат $\operatorname{tg} \delta_2$ в свою чергу розраховуються з рівнянь

$$\varepsilon_2' = \varepsilon_{O2} + \frac{\varepsilon_{C2} - \varepsilon_{O2}}{1 + (\omega\tau_2)^2}, \quad (2.11)$$

$$\operatorname{tg}\delta_2 = \frac{(\varepsilon_{C2} - \varepsilon_{O2}) \cdot \omega\tau_2}{\varepsilon_{C2} + \varepsilon_{O2} \cdot (\omega\tau_2)^2}, \quad (2.12)$$

де ε_{O2} - оптична діелектрична проникність нафтопродукту;

ε_{C2} - статична діелектрична проникність нафтопродукту;

τ_2 - час релаксації нафтопродукту, с.

Релаксаційні втрати нафтопродукту визначаються з рівняння

$$\tau_2 = \frac{4\pi\eta_2 a_2^3}{kT}, \quad (2.13)$$

де η_2 - коефіцієнт динамічної в'язкості нафтопродукту, Па·с;

a_2 - радіус молекули нафтопродукту, м.

Коефіцієнт динамічної в'язкості нафтопродукту визначається, як добуток коефіцієнта кінематичної в'язкості на густину нафтопродукту

$$\eta_2 = \nu_2 \cdot \rho, \quad (2.14)$$

де ν_2 - коефіцієнт кінематичної в'язкості нафтопродукту, м²/с;

ρ - густина нафтопродукту, кг/м³.

Коефіцієнт кінематичної в'язкості нафтопродукту та густина нафтопродукту в свою чергу визначаються з емпіричних рівнянь

$$\nu_2 = \frac{\nu_{02}}{\left(1 + 0,0337 \cdot (T - T_0) + 0,000221 \cdot (T - T_0)^2\right) \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^2}, \quad (2.15)$$

$$\rho = \frac{874,2}{0,984 + 0,483 \cdot 10^{-3}(T - T_0)}, \quad (2.16)$$

де ν_{02} - коефіцієнт кінематичної в'язкості нафтопродукту при температурі T_0 , м²/с.

Знайдемо модуль комплексної діелектричної проникності нафтопродукту

$$\varepsilon_2 = \sqrt{(\varepsilon_2')^2 + (\varepsilon_2' \cdot \operatorname{tg} \delta_2)^2}. \quad (2.17)$$

Для визначення об'ємної концентрації води α скористаємось виразом:

$$\alpha = \frac{V_{H_2O}}{V_{\text{суміші}}}, \quad (2.18)$$

$$V_{\text{суміші}} = V_{H_2O} + V, \quad (2.19)$$

де $V_{H_2O}, V, V_{\text{суміші}}$ – об'єми води, нафтопродукту та суміші відповідно, м³.

Визначимо об'єм води V_{H_2O}

$$V_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{\rho_{H_2O}}, \quad (2.20)$$

де m_{H_2O} – маса води, кг.

Підставивши вирази (2.19) і (2.20) у (2.18) отримаємо

$$\alpha = \frac{m_{H_2O}}{\rho_{H_2O} \cdot \left(\frac{m_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} + V \right)}. \quad (2.21)$$

Запишемо вираз для масової вологості W [1]

$$W = \frac{m_{H_2O}}{m_{\text{суміші}}} \cdot 100\% = \frac{m_{H_2O}}{m + m_{H_2O}} \cdot 100\%, \quad (2.22)$$

$$m_{H_2O} = \frac{W \cdot m}{100 - W}, \quad (2.23)$$

де $m, m_{\text{суміші}}$ – маси нафтопродукту та суміші відповідно, кг.

Підставивши значення m_{H_2O} з виразу (2.23) в (2.21) отримаємо

$$\alpha = \frac{W \cdot \rho}{(100 - W) \cdot \rho_{H_2O} + W \cdot \rho}. \quad (2.24)$$

Для проведення оцінки діелектричної проникності двокомпонентної суміші нафтопродукту та води ε_s запропоновано емпіричне рівняння Оделевського [2]

$$\varepsilon_s = \frac{(3\alpha - 1) \cdot \varepsilon_1 + (3\chi - 1) \cdot \varepsilon_2}{4} + \sqrt{\left(\frac{(3\alpha - 1) \cdot \varepsilon_1 + (3\chi - 1) \cdot \varepsilon_2}{4}\right)^2 + \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{2}}, \quad (2.25)$$

де ε_1 – діелектрична проникність води;

ε_2 – діелектрична проникність нафтопродукту;

ε_s - діелектрична проникність суміші;

α - об'ємна концентрація води;

χ - об'ємна концентрація нафтопродукту.

Об'ємна концентрація нафтопродукту визначається

$$\chi = 1 - \alpha. \quad (2.26)$$

Підставивши у рівняння (2.25) вирази для об'ємних концентрацій води (2.24) та нафтопродукту (2.26) отримаємо рівняння для визначення діелектричної проникності гетерогенної суміші води та нафтопродукту для вологочутливої КЦС з циліндричними електродами

$$\varepsilon_s = \frac{\left(\frac{3W \cdot \rho}{(100 - W)\rho_{H_2O} + W\rho} - 1\right)\varepsilon_1 + \left(2 - \frac{3W \cdot \rho}{(100 - W)\rho_{H_2O} + W\rho}\right)\varepsilon_2}{4} + \sqrt{\left(\frac{\left(\frac{3W \cdot \rho}{(100 - W)\rho_{H_2O} + W\rho} - 1\right)\varepsilon_1 + \left(2 - \frac{3W \cdot \rho}{(100 - W)\rho_{H_2O} + W\rho}\right)\varepsilon_2}{4}\right)^2 + \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{2}}. \quad (2.27)$$

Для розрахунку значень діелектричних проникностей води ε_1 та нафтопродукту ε_2 скористаємось виразами (2.9) та (2.17) з врахуванням вище наведених розрахунків.

Для розрахунку ємності вологочутливої КЦС з циліндричними електродами скористаємось формулою

$$C_w(W, T) = \varepsilon_s \cdot \varepsilon_0 \cdot 2\pi \cdot l \cdot \left(\frac{1}{\ln\left(\frac{R_4}{R_3 + d}\right)} + \frac{1}{\ln\left(\frac{R_3}{R_2 + d}\right)} + \frac{1}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1 + d}\right)} + \frac{1}{\ln\left(\frac{R_1}{R_0 + d}\right)} \right) \quad (2.28)$$

де ε_0 - діелектрична проникність вакууму, Ф/м;

l - довжина системи електродів, м;

d - товщина електроду, м;

R_0, R_1, R_2, R_3, R_4 - відповідно радіуси електродів від найменшого до найбільшого, м.

З врахуванням виразу (2.27) рівняння (2.28) набуває вигляду

$$C_w(W, T) = \left(\frac{\left(\frac{3W \cdot \rho}{(100 - W)\rho_{H_2O} + W\rho} - 1 \right) \varepsilon_1 + \left(2 - \frac{3W \cdot \rho}{(100 - W)\rho_{H_2O} + W\rho} \right) \varepsilon_2}{4} + \sqrt{\left(\frac{\left(\frac{3W \cdot \rho}{(100 - W)\rho_{H_2O} + W\rho} - 1 \right) \varepsilon_1 + \left(2 - \frac{3W \cdot \rho}{(100 - W)\rho_{H_2O} + W\rho} \right) \varepsilon_2}{4} + \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{2} \right)^2} \right) \times \varepsilon_0 \cdot 2\pi \cdot l \cdot \left[\frac{1}{\ln\left(\frac{R_4}{R_3 + d}\right)} + \frac{1}{\ln\left(\frac{R_3}{R_2 + d}\right)} + \frac{1}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1 + d}\right)} + \frac{1}{\ln\left(\frac{R_1}{R_0 + d}\right)} \right] \quad (2.29)$$

Згідно з виразом (2.29) була розрахована залежність ємності вологочутливої КЦС з циліндричними електродами від вологості нафтопродуктів. За допомогою пакету математичного моделювання “Maple” було написано програму для розрахунку ємності вологочутливої КЦС з циліндричними електродами. Для перевірки адекватності розробленої математичної моделі на рис. 2.5, рис. 2.6 зображено теоретичні та експериментальні залежності ємності вологочутливої КЦС з циліндричними електродами від вологості нафтопродуктів.

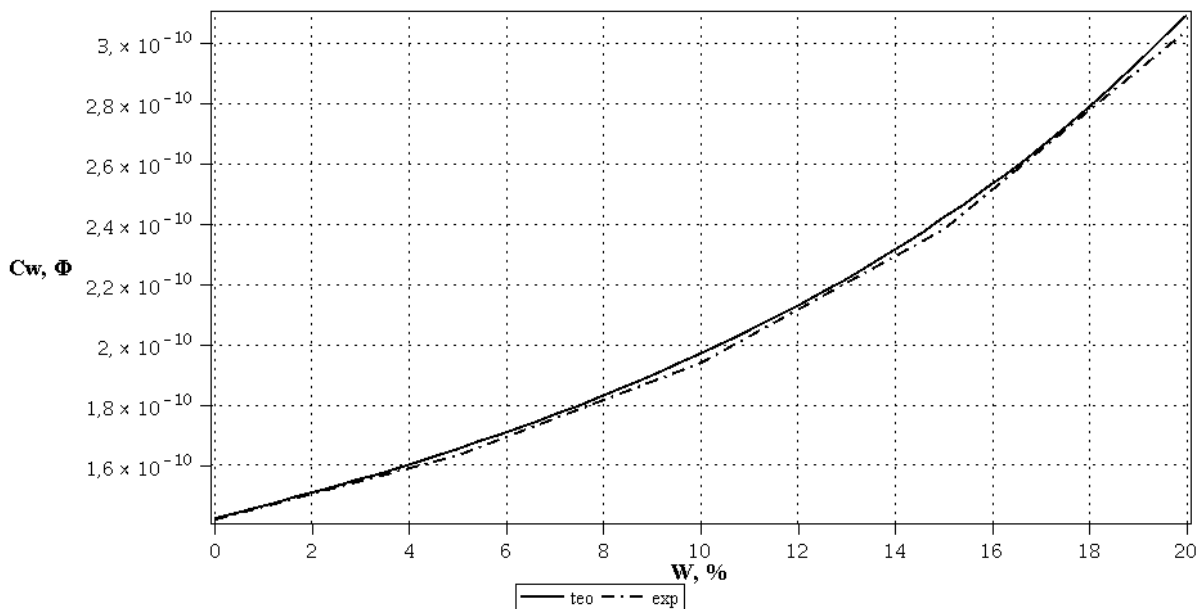


Рисунок 2.5 – Теоретична та експериментальна залежність ємності вологочутливої КЦС з циліндричними електродами від вологості моторного масла 5W40

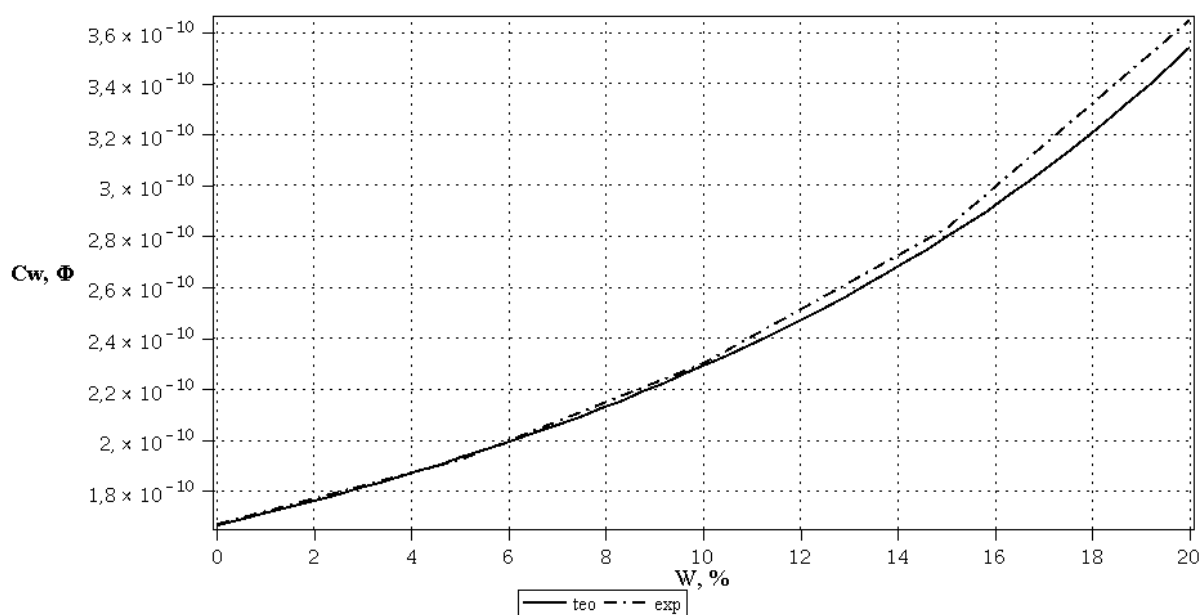


Рисунок 2.6 – Теоретична та експериментальна залежність ємності вологочутливої КЦС з циліндричними електродами від вологості нафти

Як видно із рис. 2.5, рис. 2.6 теоретичні та експериментальні залежності мають добрий збіг. Так, наприклад, при зміні масової вологості моторного масла 5W40 від 0 % до 20 % ємність збільшується від 165 пФ до 364 пФ. Чутливість вологочутливої КЦС із циліндричними електродами для вимірювання зміни величини вологості нафтопродуктів в діапазоні від 0 % до 20 % складає від 5,7 до 13,5 пФ/%. Адекватність математичної моделі можна оцінити за допомогою відносної похибки, яка складає не більше 2 %.

2.3 Висновки до розділу 2

1. Розроблено фізико-математичну модель первинного перетворювача вологості нафтопродуктів на основі конденсаторної циліндричної структури з циліндричними електродами, що дозволяє визначити значення електричної ємності первинного перетворювача вологості нафтопродуктів.

2. В результаті математичного моделювання отримано аналітичний вираз для визначення електричної ємності первинного перетворювача вологості нафтопродуктів, що може бути використаний для інженерного розрахунку первинного перетворювача вологості нафтопродуктів.

3. Проведено експериментальні дослідження, які показали, що чутливість вологочутливої КЦС з циліндричними електродами в діапазоні зміни вологості нафтопродуктів від 0 % до 20 % складає від 5,7 до 13,5 пФ/%. Розбіжність теоретичних та експериментальних даних не перевищує 2 %.

3 РОЗРОБКА РАДІОВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВОЛОГОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ

Сучасний рівень розвитку інформаційно-вимірювальної техніки, як видно з першого розділу, характеризується великою різноманітністю методів перетворення значення вологості нафтопродуктів в електричний сигнал. Представлення вимірювальної інформації 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 та створенні приладів для визначення вологості нафтопродуктів є створення радіовимірювальних перетворювачів вологості нафтопродуктів на основі конденсаторних циліндричних структур.

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 вологості нафтопродуктів [2]. З метою вивчення властивостей радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів, вологочутливим елементом якого є конденсаторна циліндрична структура (КЦС) [2], 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 Дослідження та вибір вторинного перетворювача вологості нафтопродуктів

При підключенні вологочутливих КЦС до автогенераторних засобів забезпечується можливість досягнення значно більших точностей визначення вологості нафтопродуктів. Існує чимало різноманітних автогенераторів, які можливо було б використати для обробки аналогового сигналу вологочутливої ємності КЦС. Розглянемо деякі з них та оберемо засіб, який надає можливість досягнути найбільшої чутливості до вимірювального параметру, а саме до вологочутливої ємності КЦС, яка в свою чергу залежить від значення вологості нафтопродуктів.

Так на рис 3.1 наведено електричну схему RC-автогенератора, яка складається з біполярного транзистора включеного за схемою з спільним емітером, фазозсувних RC ланцюгів та вологочутливої КЦС C_w .

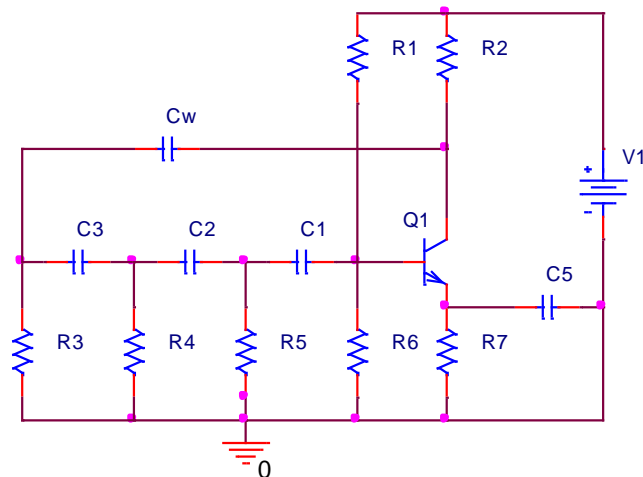


Рисунок 3.1 – Електрична схема RC-генератора [143]

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

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

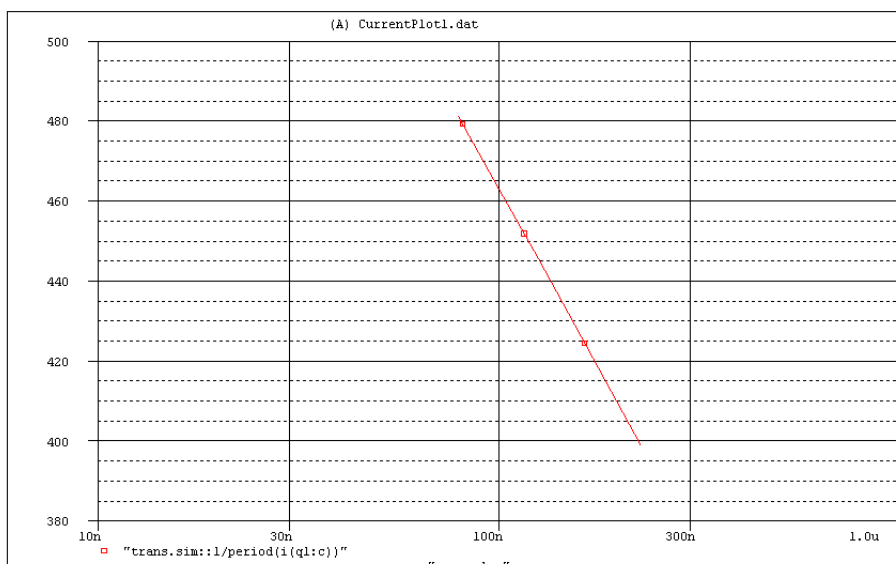


Рисунок 3.2 – Залежність вихідної частоти RC-генератора від ємності КЦС

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 рис 3.3 наведено електричні схеми LC-автогенераторів [2], 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 частоти колекторного струму біполярного транзистора від ємності КЦС для ємнісної трьохточки на рис. 3.4 та індуктивної трьох точки на рис 3.5.

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

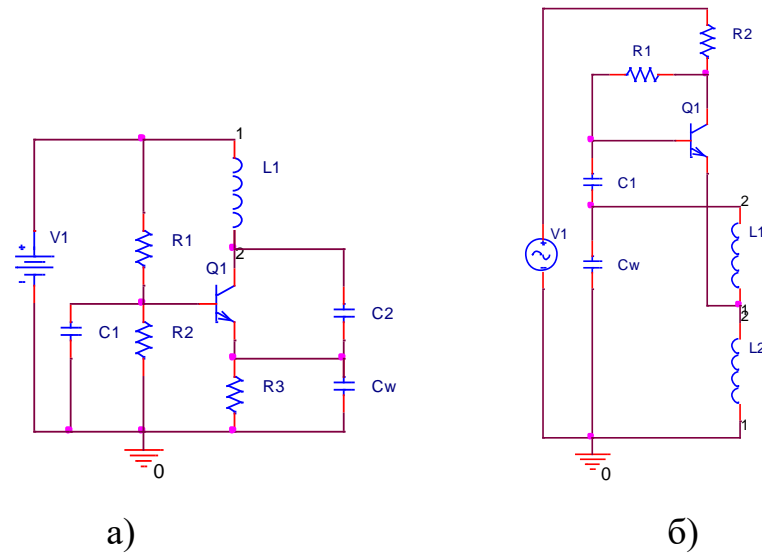


Рисунок 3.3 – Електрична схема LC-генератора: а) ємнісна трьохточка; б) індуктивна трьохточка

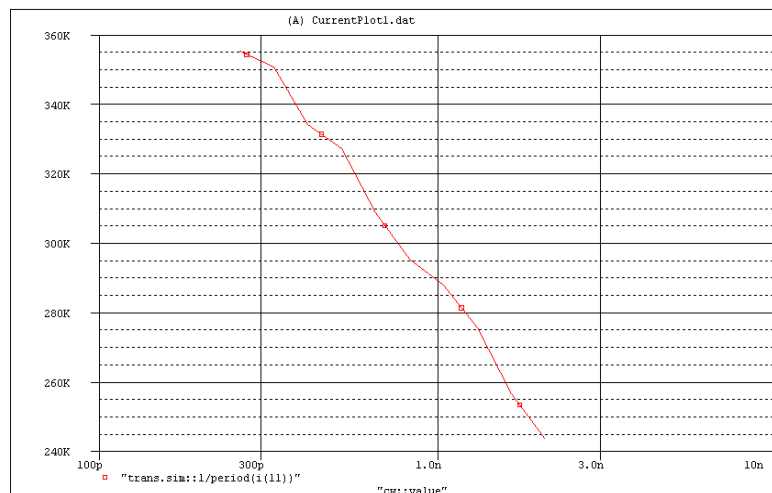


Рисунок 3.4 – Залежність вихідної частоти ємнісної трьохточки від ємності КЦС

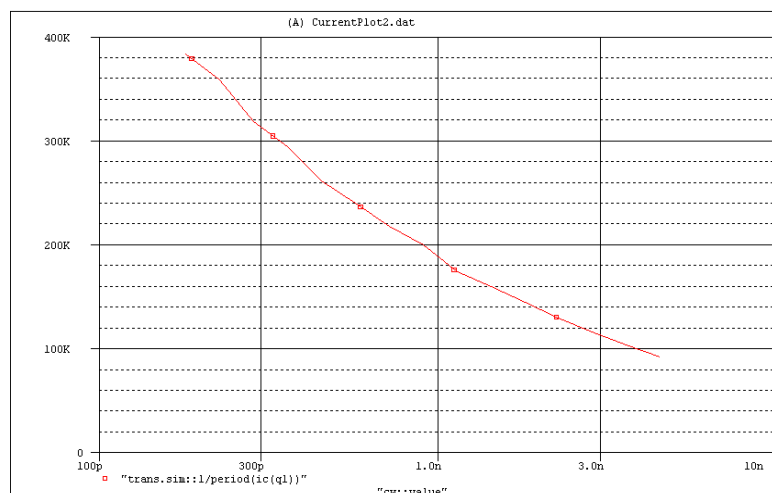


Рисунок 3.5 – Залежність вихідної частоти індуктивної трьохточки від ємності КЦС

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 мультівібратора в автоколивальному режимі роботи [2], що зображена на рис. 3.6. Даний мультівібратор складається з джерела живлення, двох однакових біполярних транзисторів, індуктивностей та вологочутливої КЦС.

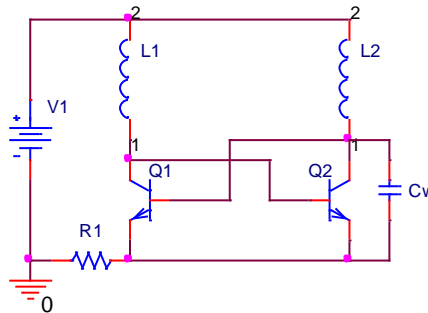


Рисунок 3.6 – Електрична схема мультівібратора

За допомогою схемотехнічного моделювання в середовищі Orcad Family Release отримано залежність вихідної частоти мультівібратора, а саме частоти колекторного струму біполярних транзисторів від ємності КЦС, що зображена на рис 3.7.

З рис. 3.7 видно, що робочий діапазон вологочутливої ємності КЦС складає від 80 пФ до 800 пФ, а також, що мультівібратор має найменшу чутливість серед розглянутих автогенераторів. Перевагою мультівібратора 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.

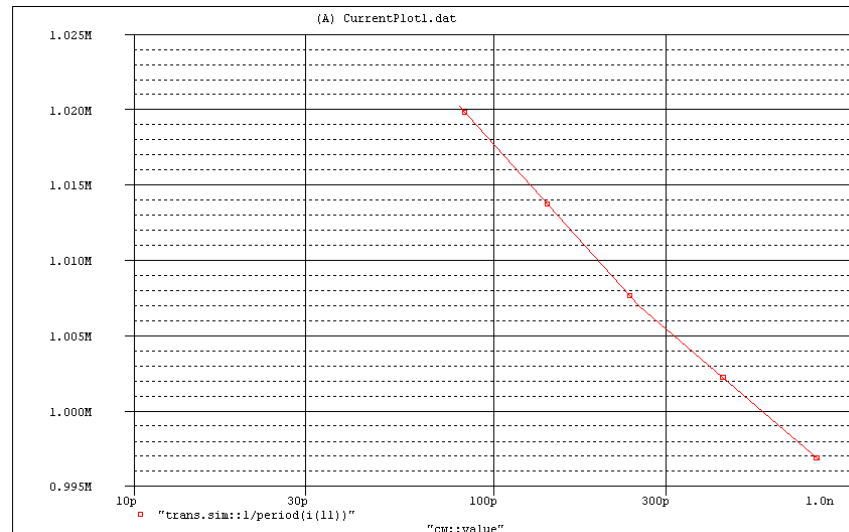


Рисунок 3.7 – Залежність вихідної частоти мультивібратора від ємності КЦС

Перспективни напрямком є використання автогенераторів на транзисторних структурах з від'ємним опором. 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 рис. 3.8 [69]. Даний генератор складається з джерела живлення, двох подільників напруги, біполярних транзисторів з різним типом провідності, котушки індуктивності та вологочутливої КЦС.

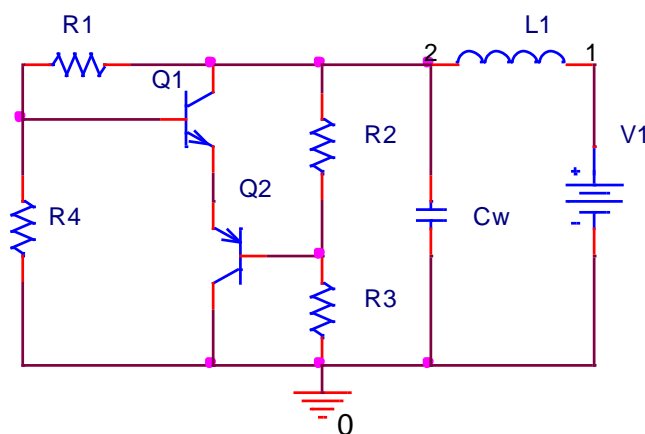


Рисунок 3.8 – Електрична схема автогенератора на транзисторній структурі з від'ємним опором

Для доведення існування ділянки від'ємного опору на рис. 3.9 наведено моделювання в середовищі Orcad Family Release вольт-амперної характеристики автогенератора.

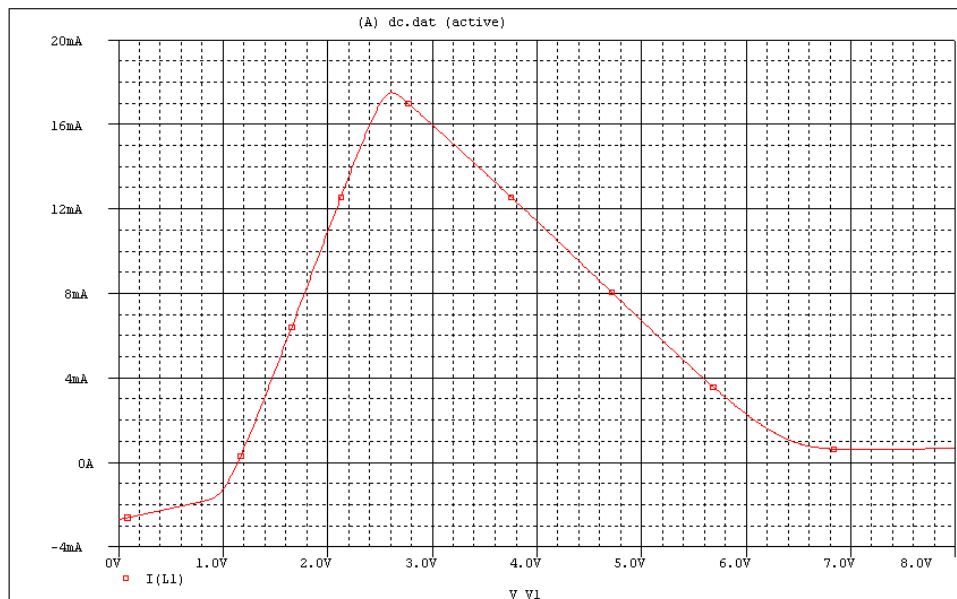


Рисунок 3.9 – ВАХ автогенератора на транзисторній структурі з від'ємним опором

З характеристики видно присутність ділянки з від'ємним опором при напрузі живлення U_1 від 2,6 В до 6,7 В. Коливальний контур в автогенераторі (рис. 3.8) утворений паралельним включенням повного опору з ємнісною складовою на електродах колектор-колектор транзисторів Q1 та Q2 та індуктивності L_1 . При наступній дії вологи на вологочутливий конденсатор C_w змінюється ємнісна складова повного опору на електродах колектор-колектор транзисторів Q1 та Q2, що викликає ефективну зміну частоти коливального контуру.

На рис. 3.10 зображено залежність вихідної частоти автогенератора на від'ємному опорі від вологочутливої ємності КЦС. З даної характеристики легко бачити, що даний автогенератор має найбільшу чутливість та робочий діапазон вологочутливої ємності КЦС, який складає від 20 пФ до 930 нФ серед розглянутих вище автогенераторів.

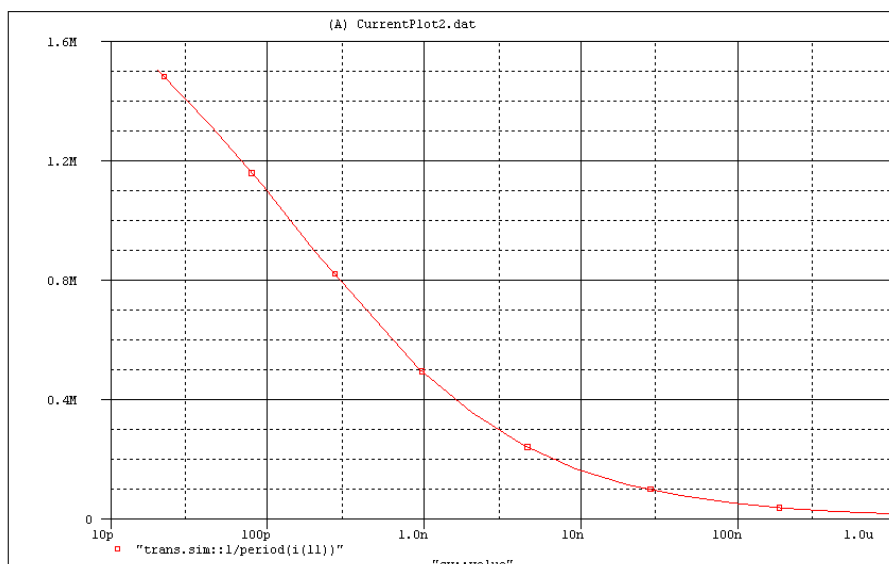


Рисунок 3.10 – Залежність вихідної частоти автогенератора на транзисторній структурі з від’ємним опором

Автогенератори на основі транзисторних структур з від’ємним опором мають такі переваги [2]: 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 $U_{ж}=(2..10)V$; 4) мала спожита потужність та високий ККД - (45..95)% для різних діапазонів частот; 5) можливість отримання надширокопasmової 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 (варіапи, 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 будемо використовувати саме їх.

3.2 Математична модель радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів на основі транзисторної структури з від'ємним опором

На рис. 3.11, що в додатку В (08-36-МКР.010.00.000Е2), зображено електричну схему радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів (РВН) [70] в якому при дії вологи на вологочутливу КЦС $C_w(W, T)$ змінюється ємнісна складова повного опору на електродах емітер-перший затвор транзисторів VT2 та VT1, що викликає ефективну зміну частоти коливального контуру [71]. Схема живиться від джерела живлення постійної напруги U_1 .

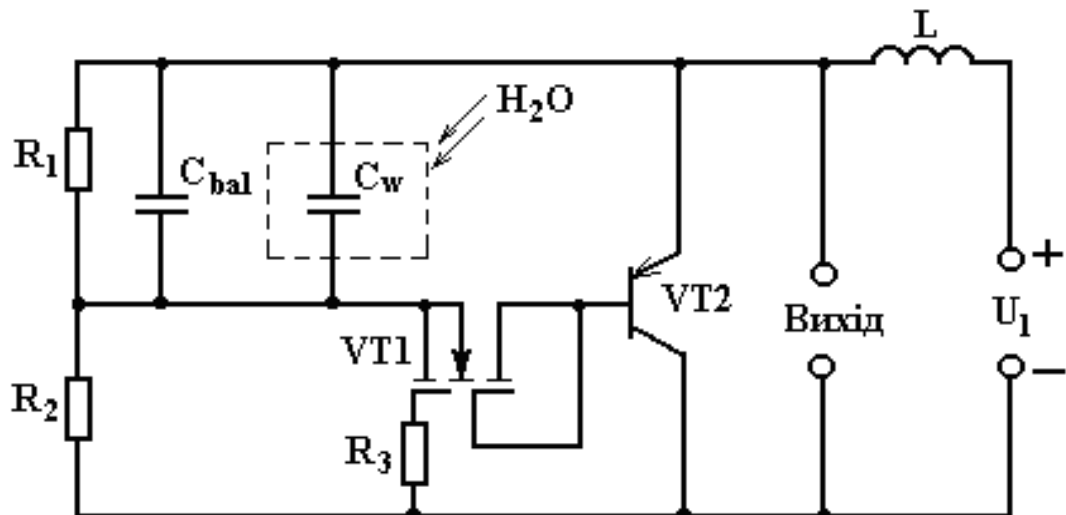


Рисунок 3.11 – Електрична схема радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів [59]

Для визначення функції перетворення та чутливості на рис. 3.12, що в додатку Д (08-36-МКР.010.00.000Е3), наведено еквівалентну схему РВН, яка реалізує залежність частоти генерації від зміни вологості нафтопродуктів.

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 рис. 3.13 наведено перетворену еквівалентну схему РВН.

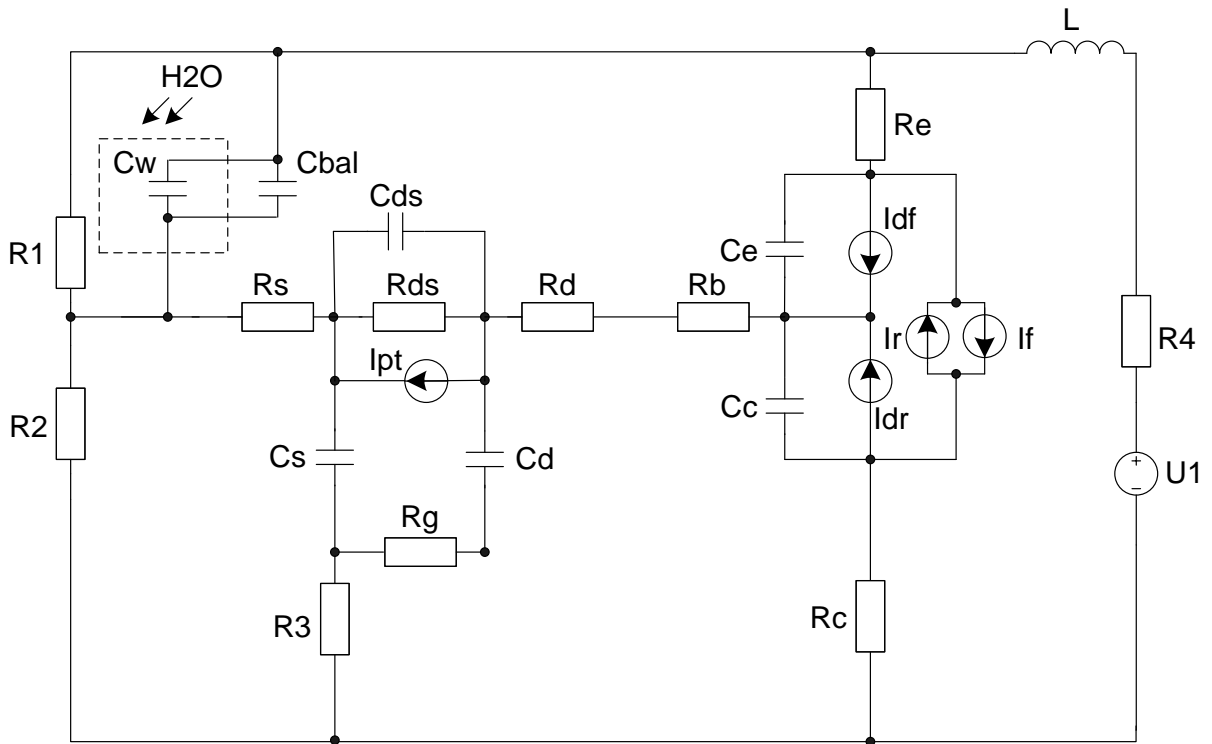


Рисунок 3.12 – Еквівалентна схема радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів

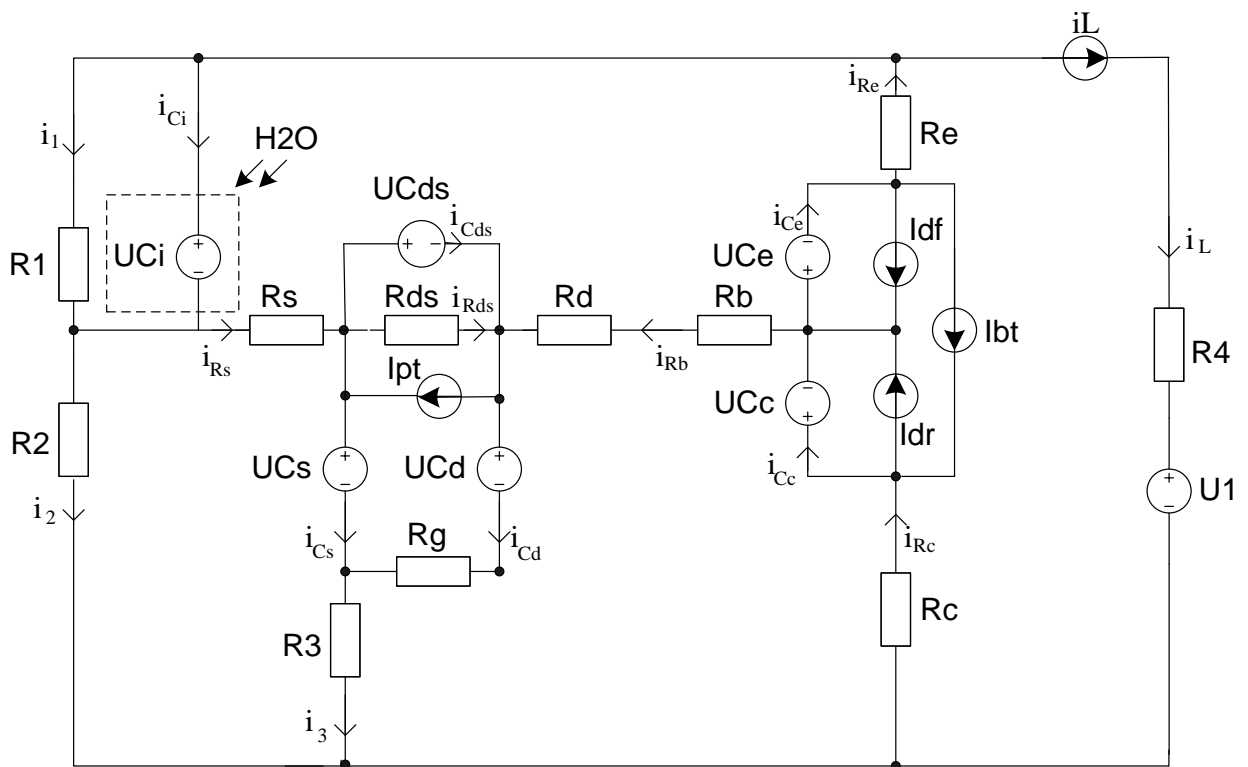


Рисунок 3.13 – Перетворена еквівалентна схема радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів

На основі вибраних напрямків струмів було складено систему рівнянь Кірхгофа:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 U_L = -(U_{C_i}(W) + i_L R_4 + U_1 + i_{R_c} R_c + U_{C_e} + U_{C_c} + i_{R_e} R_e); \\
 i_{R_{ds}} = \frac{U_{C_{ds}}}{R_{ds}}; \\
 i_{C_d} = \frac{U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_d}}{R_g}; \\
 i_{R_b} = \frac{U_{C_{ds}} + i_{R_s} R_s + U_{C_i}(W) + i_{R_e} R_e + U_{C_e}}{R_b + R_d}; \\
 i_{C_{ds}} = i_{R_s} + I_{pt} - i_{C_s} - i_{R_{ds}}; \\
 i_{R_c} = \frac{-(U_{C_d} + U_{C_c} + i_{R_b}(R_b + R_d) + i_{C_d} R_g + i_3 R_3)}{R_c}; \\
 i_{R_s} = \frac{i_2 R_2 - U_{C_s} - i_3 R_3}{R_s}; \\
 i_{R_e} = i_{R_c} - i_{R_b}; \\
 i_1 = \frac{U_{C_i}(W)}{R_1}; \\
 i_2 = i_1 + i_{C_i} - i_{R_s}; \\
 i_3 = i_{R_c} - i_L - i_2; \\
 i_{C_s} = i_{R_s} + I_{pt} - i_{C_{ds}} - i_{R_{ds}}; \\
 i_{C_i} = i_{R_e} - i_1 - i_L; \\
 i_{C_c} = i_{R_c} + I_{bt} - I_{dr}; \\
 i_{C_e} = i_{R_e} + I_{bt} + I_{df};
 \end{array} \right. \quad (3.1)$$

де R_1, R_2, R_3, R_4 - 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; $C_w(W, T)$ - ємність вологочутливої КЦС;

L - індуктивність; U_1 - джерело 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.

Вважаючи заданими значення відповідних напруг на ємностях та струм через індуктивність розв'яжемо систему рівнянь (3.1) відносно $U_L, i_{C_{ds}}, i_{C_d}, i_{C_s}, i_{C_i}, i_{C_e}, i_{C_c}$.

$$\left\{ \begin{array}{l} U_L = -(U_1 + U_{C_e} + U_{C_c} + i_L R_4 - D_5 + D_2 R_e); \\ i_{C_d} = \frac{D_7}{R_g}; \\ i_{C_{ds}} = -D_4 + \frac{D_7}{R_g} - \frac{U_{C_{ds}}}{R_{ds}} + I_{pt}; \\ i_{C_s} = \frac{C_5 R_2 - C_4 R_3 - U_{C_s}}{R_s} + \frac{D_1 - C_4 R_3}{R_b + R_d} - \frac{D_7}{R_g}; \\ i_{C_i} = -i_L - \frac{C_5 A_4 + C_4 A_3 + A_2}{A_1} - \frac{U_{C_i}(W)}{R_1}; \\ i_{C_c} = I_{bt} - \frac{U_{C_c} + U_{C_d} + D_1 + R_g D_6}{R_c} - I_{dr}; \\ i_{C_e} = I_{bt} - \frac{C_5 A_4 + C_4 A_3 + A_2}{A_1} + I_{df}; \end{array} \right. \quad (3.2)$$

де $A_1 = R_{ds} \left((R_c + R_e)(R_b + R_d) + R_e(R_c - R_g) \right)$;

$A_2 = R_{ds} R_g (I_{pt}(R_b + R_d) - U_{C_e} - U_{C_i}(W) - U_{C_{ds}} + U_{C_s}) + (R_b + R_d) \times$
 $\times (R_{ds}(U_{C_e} + U_{C_c} + U_{C_i}(W)) - U_{C_{ds}} R_g) + R_{ds} R_c (U_{C_e} + U_{C_i}(W) + U_{C_{ds}} - U_{C_s})$;

$A_3 = R_{ds} R_3 (R_g - R_c)$;

$A_4 = R_{ds} R_2 (R_b + R_d + R_2 - R_g)$;

$$B_1 = A_4 R_s + A_1 (R_s + R_2); \quad B_2 = A_1 R_3 - R_s A_3;$$

$$B_3 = A_1 U_{C_s} - R_s A_2;$$

$$C_1 = B_1 (R_2 - R_3 - 2R_s);$$

$$C_2 = R_s (A_1 (R_2 - R_s) + B_1);$$

$$C_3 = B_3 (R_s - R_2) + B_1 U_{C_s};$$

$$C_4 = \frac{i_L C_2 + C_3}{C_1};$$

$$C_5 = \frac{C_4 B_1 - i_L A_1 R_s + B_3}{B_1};$$

$$D_1 = U_{C_e} + U_{C_i}(W) + U_{C_{ds}} - U_{C_s} + C_5 R_2 - \frac{R_e (C_5 A_4 + C_4 A_3 + A_2)}{A_1};$$

$$D_2 = -\frac{C_5 A_4 + C_4 A_3 + A_2}{A_1};$$

$$D_3 = \frac{C_5 R_2 - C_4 R_3 - U_{C_s}}{R_s};$$

$$D_4 = \frac{U_{C_e} + U_{C_i}(W) + U_{C_{ds}} + D_2 R_e + D_3 R_s}{R_b + R_d};$$

$$D_5 = R_g \left(\frac{U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_d}}{R_g} - D_4 - \frac{U_{C_{ds}}}{R_{ds}} + I_{pt} \right) + C_4 R_3 + U_{C_d} + U_{C_e} +$$

$$+ D_4 (R_b + R_d);$$

$$D_6 = -\frac{D_1 - C_4 R_3}{R_b + R_d} + \frac{U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_d}}{R_g} - \frac{U_{C_{ds}}}{R_{ds}} + I_{pt}; \quad D_7 = U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_d}.$$

Проведемо заміну у лівій частині рівнянь системи рівнянь (3.2) у відповідності з виразами, які описують струми в ємностях $i_C(t) = C \frac{dU_C(t)}{dt}$ і

напруги у індуктивностях $U_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$, а також врахуємо, що всі напруги та

струми в системі змінюються в часі

$$\left\{ \begin{array}{l}
L \frac{di_L(t)}{dt} = -(U_1 + U_{C_e}(t) + U_{C_c}(t) + i_L(t)R_4 - D_5 + D_2R_e); \\
C_d \frac{dU_{C_d}(t)}{dt} = \frac{D_7}{R_g}; \\
C_{ds} \frac{dU_{C_{ds}}(t)}{dt} = -D_4 + \frac{D_7}{R_g} - \frac{U_{C_{ds}}(t)}{R_{ds}} + I_{pt}; \\
C_s \frac{dU_{C_s}(t)}{dt} = \frac{C_5R_2 - C_4R_3 - U_{C_s}(t)}{R_s} + \frac{D_1 - C_4R_3}{R_b + R_d} - \frac{D_7}{R_g}; \\
C_i \frac{dU_{C_i}(W,t)}{dt} = -i_L - \frac{C_5A_4 + C_4A_3 + A_2}{A_1} - \frac{U_{C_i}(W,t)}{R_1}; \\
C_c \frac{dU_{C_c}(t)}{dt} = I_{bt} - \frac{U_{C_c}(t) + U_{C_d}(t) + D_1 + R_gD_6}{R_c} - I_{dr}; \\
C_e \frac{dU_{C_e}(t)}{dt} = I_{bt} - \frac{C_5A_4 + C_4A_3 + A_2}{A_1} + I_{df}.
\end{array} \right. \quad (3.3)$$

Система рівнянь (3.3) є нелінійною оскільки містить в собі нелінійні елементи, а саме джерела струмів I_{pt} , I_{dr} , I_{df} , $I_{bt} = (I_f - I_r)/QB$ та ємності C_c , C_e .

$$I_f = I_S \left(e^{\frac{V_{BE}}{VT \cdot NF}} - 1 \right), \quad (3.4)$$

$$I_r = I_S \left(e^{\frac{V_{BC}}{VT \cdot NR}} - 1 \right), \quad (3.5)$$

$$I_{df} = \frac{I_f}{BF}, \quad (3.6)$$

$$I_{dr} = \frac{I_r}{BR}, \quad (3.7)$$

$$I_{pt} = \begin{cases} 0, & V_{GS} - V_{TO} \leq 0; \\ \beta \cdot (V_{GS} - V_{TO})^2, & V_{GS} - V_{TO} \leq V_{DS}; \\ \beta \cdot V_{DS} \cdot [2 \cdot (V_{GS} - V_{TO}) - V_{DS}], & V_{GS} - V_{TO} > V_{DS}, \end{cases} \quad (3.8)$$

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;

V_{TO} - порогова напруга;

β - крутизна прохідної характеристики;

V_{GD}, V_{GS}, V_{DS} - напруги на внутрішніх точках затвор-стік, затвор-витік та стік-витік.

Ємності біполярного транзистора мають дифузійну та бар'єрну складову.

Розглянемо окремо ємність колекторного переходу C_c :

$$C_c = C_c dif + C_c bar; \quad (3.9)$$

$$C_c dif = \frac{(I_r + I_S) \cdot TR}{VT \cdot NR}; \quad (3.10)$$

$$C_c bar = \begin{cases} \frac{CJC}{\left(1 - \frac{V_{BC}}{V_{JC}}\right)^{MJC}}, & V_{BC} < 0; \\ CJC, & V_{BC} \geq 0. \end{cases} \quad (3.11)$$

Ємність емітерного переходу запишеться C_e :

$$C_e = C_{e\ dif} + C_{e\ bar}; \quad (3.12)$$

$$C_{e\ dif} = \frac{(I_f + I_S) \cdot TF}{VT \cdot NF}; \quad (3.13)$$

$$C_{e\ bar} = \begin{cases} \frac{CJE}{\left(1 - \frac{V_{BE}}{V_{JE}}\right)^{MJE}}, & V_{BE} < 0; \\ CJE, & V_{BE} \geq 0 \end{cases}, \quad (3.14)$$

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 (3.3) є динамічною математичною моделлю радіовимірювального 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 «Math». Розрахунок показує, що на виході РВН дійсно будуть існувати періодичні коливання, частота яких буде змінюватись із зміною ємності вологочутливої КЦС (рис. 3.14). Так при $C_w(W, T) = 25$ пФ частота $F = 601$ кГц, при $C_w(W, T) = 45$ пФ частота $F = 585$ кГц, при $C_w(W, T) = 60$ пФ частота $F = 575$ кГц, при $C_w(W, T) = 90$ пФ частота $F = 560$ кГц, а при $C_w(W, T) = 115$ пФ частота $F = 552$ кГц, при цьому $U_1 = 1,7$ В.

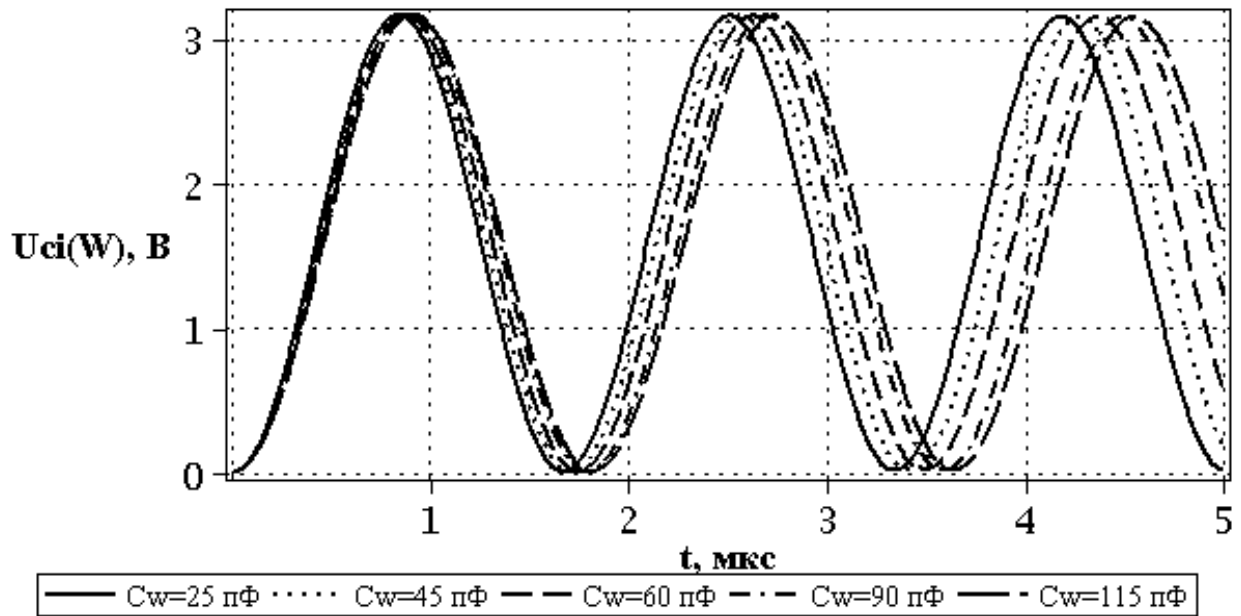


Рисунок 3.14 – Зміна напруги вихідного сигналу від часу при різних значеннях ємності вологочутливої КЦС

На рис. 3.15. наведено зміну напруги вихідного сигналу від часу при різних значеннях вологості нафти при використанні КЦС із циліндричними електродами. З даної характеристики добре видно, що при збільшенні вологості частота вихідного сигналу буде зменшуватись.

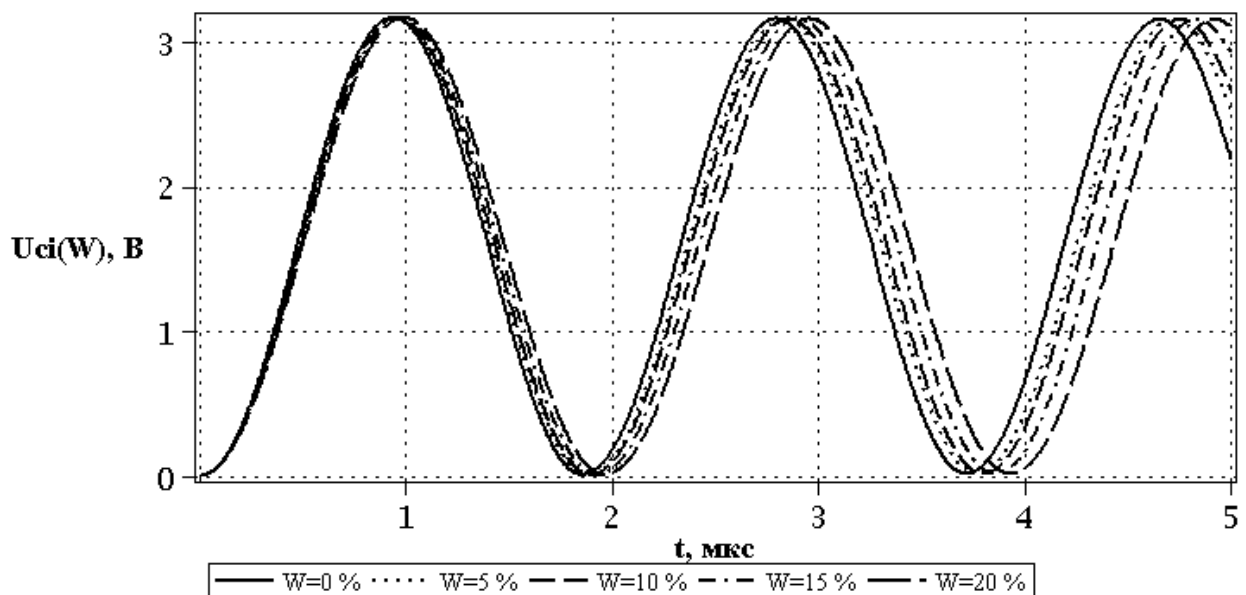


Рисунок 3.15 – Зміна напруги вихідного сигналу від часу при різних значеннях вологості нафти

Знаючи значення частоти вихідного сигналу F при різних значеннях вологочутливої ємності $C_w(W, T)$ КЦС можна отримати функцію перетворення для РВН в загальному вигляді (так як замість значень вологості в ній використовуються значення вологочутливої ємності), при $U_1 = 1,7$ В. Так на рис. 3.16 наведено функцію перетворення РВН в загальному вигляді з використання у якості вологочутливого елемента КЦС з циліндричними електродами, при різних значеннях індуктивності L .

Для проведення експериментальних досліджень у схемі, що зображена на рис. 3.11 було використано транзистори BF998 та BC857, в якості вологочутливого елемента було використано КЦС з циліндричними електродами.

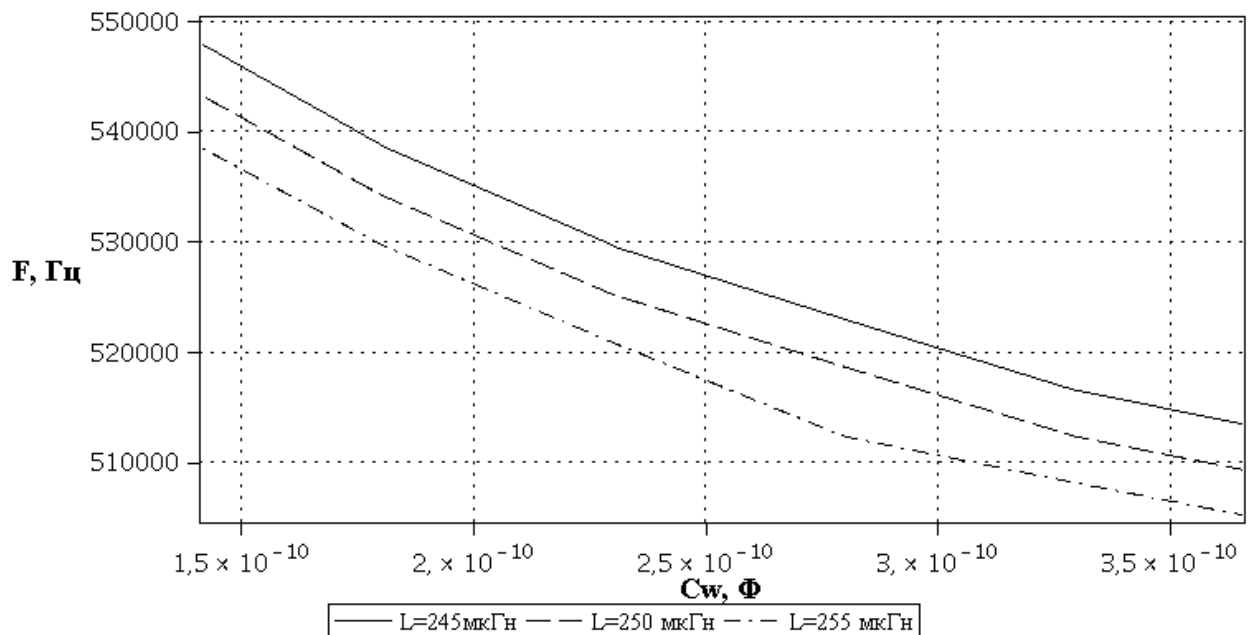


Рисунок 3.16 – Теоретична функція перетворення в загальному вигляді з використанням КЦС з циліндричними електродами

На рис. 3.17 для доведення існування ділянки від'ємного опору зображено експериментальну вольт-амперну характеристику досліджуваного РВН. З характеристики видно присутність ділянки від'ємного опору при напрузі живлення U_1 від 1,6 В до 4,0 В.

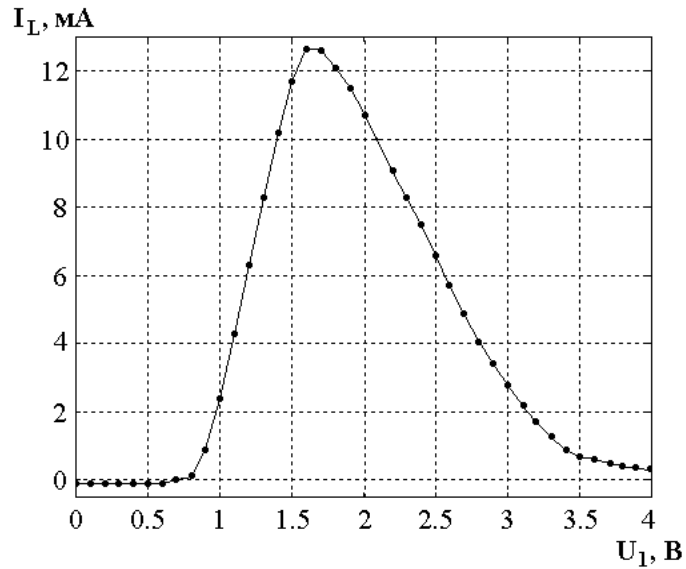


Рисунок 3.17 – Експериментальна вольт-амперна характеристика РВН

Для більшого розуміння на рис. 3.18 – рис. 3.20 наведено функції перетворення РВН для різних нафтопродуктів з використанням в якості вологочутливого елемента КЦС з циліндричними електродами.

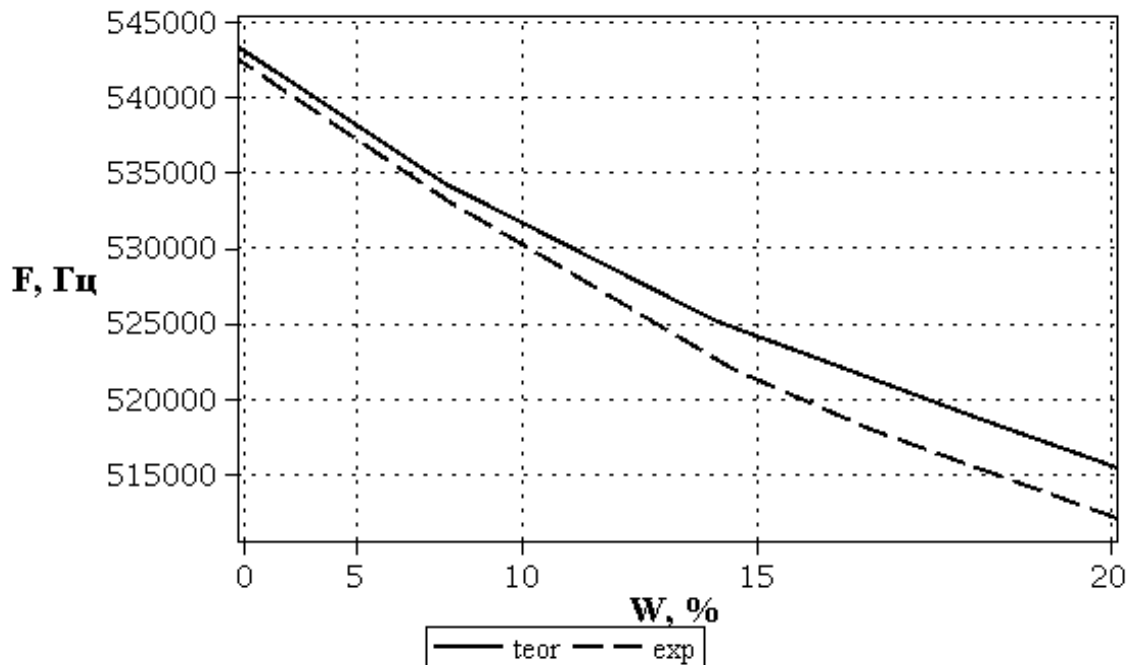


Рисунок 3.18 – Теоретична та експериментальна функція перетворення РВН з КЦС із циліндричними електродами для напівсинтетичного моторного масла 5W40

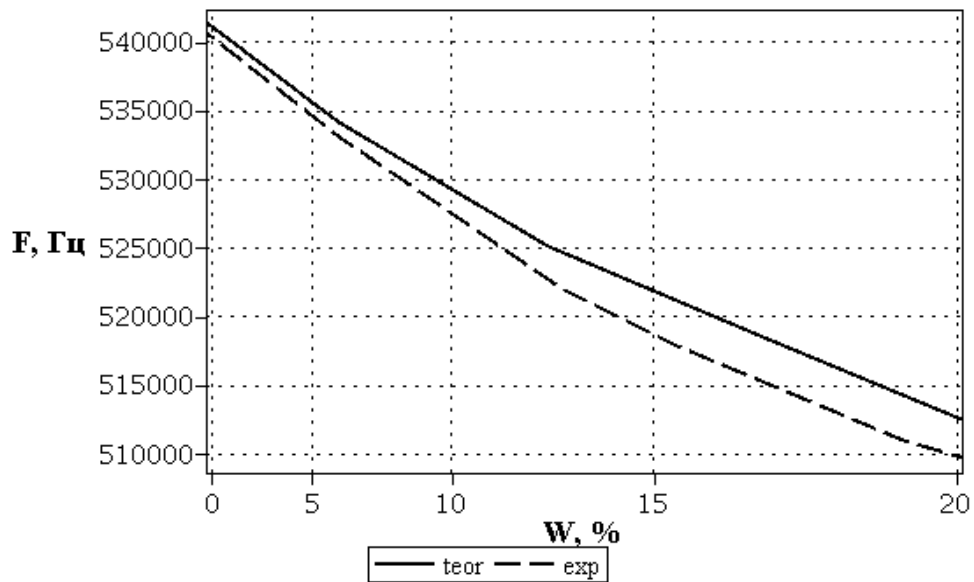


Рисунок 3.19 – Теоретична та експериментальна функція перетворення РВН з КЦС із циліндричними електродами для трансформаторного масла

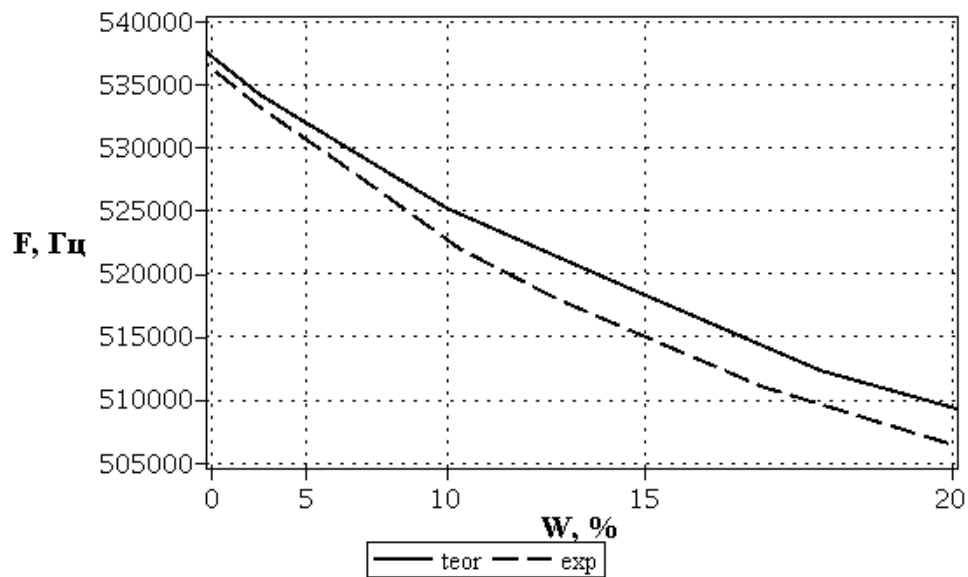


Рисунок 3.20 – Теоретична та експериментальна функція перетворення РВН з КЦС із циліндричними електродами для нафти

Як видно з рис. 3.18 – рис. 3.20 функція перетворення РВН з КЦС із циліндричними електродами є нелінійною. Чутливість РВН в діапазоні зміни вологості нафтопродуктів від 0 % до 20 % складає 1,1 до 1,73 кГц/ %.

З рис. 3.18 – рис. 3.20 можна бачити, що розбіжність теоретичних та експериментальних результатів для РВН є різною при різних значеннях вологості нафтопродуктів W , але не перевищує 2 %.

Залежність частоти генерації від вологості нафтопродуктів визначається по контуру зворотного струму згідно еквівалентної схеми.

Функція перетворення РВН на основі структури р-п-р біполярного і двозатворного польового транзисторів описується виразом (3.15)

$$F = \frac{\sqrt{2} \sqrt{LC_c C_i(W, T)} \cdot \left((R_{ds}^2 C_{ds} - L) \cdot C_c C_i(W, T) + R_{ds}^2 A_1 + \sqrt{A_2} \right)}{4\pi LC_i(W, T) C_c R_{ds} C_{ds}}, \quad (3.15)$$

де $A_1 = C_{ds}^2 (C_c + C_i(W, T))$;

$$A_2 = R_{ds}^4 C_{ds}^2 C_c^2 C_i^2(W, T) + 2R_{ds}^4 C_{ds}^3 C_c C_i(W, T)(C_c + C_i(W, T)) - \\ - 2LR_{ds}^2 C_{ds} C_c^2 C_i^2(W, T) + R_{ds}^4 C_{ds}^4 (C_c^2 + 2C_c + C_i^2(W, T)) + \\ + 2LR_{ds}^2 C_{ds}^2 C_c C_i(W, T)(C_c + C_i(W, T)) + L^2 C_c^2 C_i^2(W, T).$$

На основі виразу (3.15) визначена чутливість РВН на основі структури р-п-р біполярного і двозатворного польового транзисторів

$$S_W^F = \frac{\sqrt{2} \left(B_6 \frac{\partial C_i(W, T)}{\partial W} + LC_c C_i(W, T) \left(B_3 \frac{\partial C_i(W, T)}{\partial W} + \frac{B_4 \frac{\partial C_i(W, T)}{\partial W}}{B_2} \right) \right)}{8 \cdot \left(B_5 \sqrt{LC_c C_i(W, T)} (B_2 + B_1) - \frac{\sqrt{2} \sqrt{B_6 C_i(W, T)} \frac{\partial C_i(W, T)}{\partial W}}{4B_5 C_i(W, T)} \right)}, \quad (3.16)$$

де $B_1 = R_{ds}^2 C_{ds}^2 (C_c + C_i(W, T)) + (C_c C_i(W, T))(R_{ds}^2 C_{ds} - L)$

$$B_2 = \sqrt{R_{ds}^4 C_{ds}^2 C_c^2 C_i^2(W, T) + 2R_{ds}^4 C_{ds}^3 C_c C_i(W, T)(C_c + C_i(W, T)) - 2LR_{ds}^2 C_{ds}^2 C_c^2 C_i^2(W, T) + R_{ds}^4 C_{ds}^4 (C_c^2 + 2C_c + C_i^2(W, T)) + 2LR_{ds}^2 C_{ds}^2 C_c C_i(W, T)(C_c + C_i(W, T)) + L^2 C_c^2 C_i^2(W, T)}$$

$$B_3 = R_{ds}^2 C_{ds} C_c + R_{ds}^2 C_{ds}^2 - LC_c;$$

$$B_4 = R_{ds}^4 C_{ds}^2 C_c^2 (C_i(W, T) + C_{ds}) - 2LR_{ds}^2 C_{ds} C_c^2 C_i(W, T) + L^2 C_c^2 C_i(W, T) + R_{ds}^2 C_{ds}^2 C_c (2C_i(W, T)(R_{ds}^2 C_{ds} + L) + LC_c) + R_{ds}^4 C_{ds}^4 (C_i(W, T) + C_c);$$

$$B_5 = \pi LR_{ds} C_{ds} C_c C_i(W, T);$$

$$B_6 = LC_c (B_2 + B_1).$$

Графік залежності чутливості від ємності вологочутливої КЦС представлений на рис. 3.21 та від вологості нафти з КЦС із циліндричними електродами на рис. 3.22.

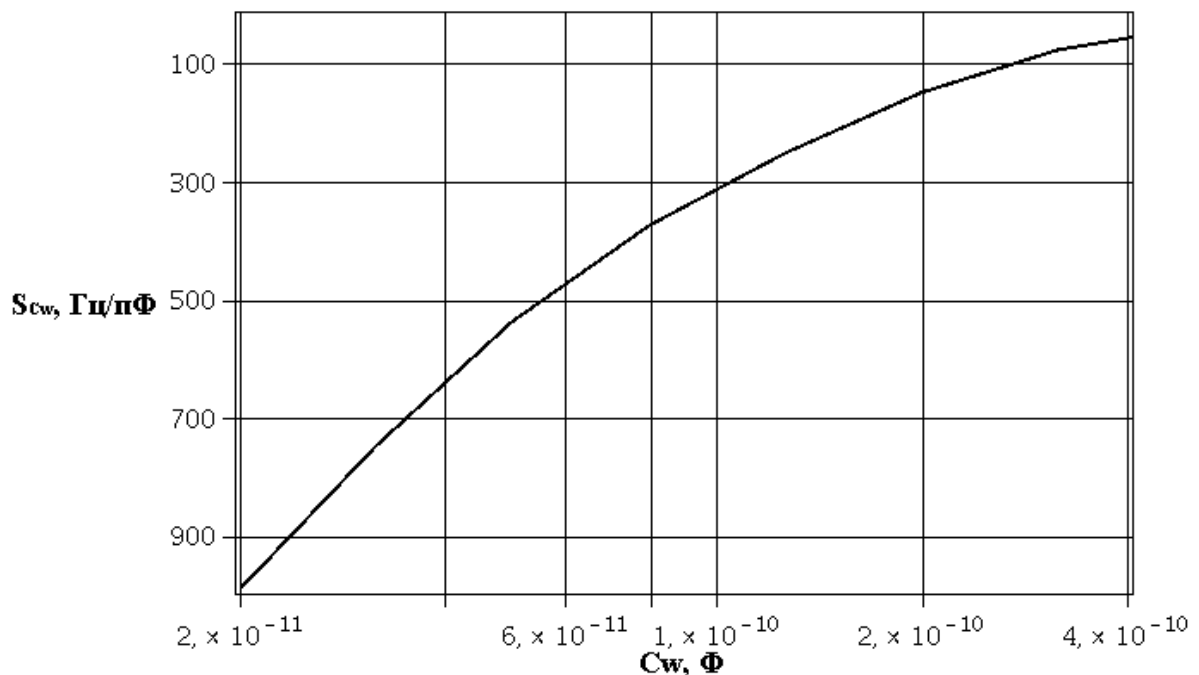


Рисунок 3.21 – Залежність чутливості РВН від зміни ємності вологочутливої КЦС

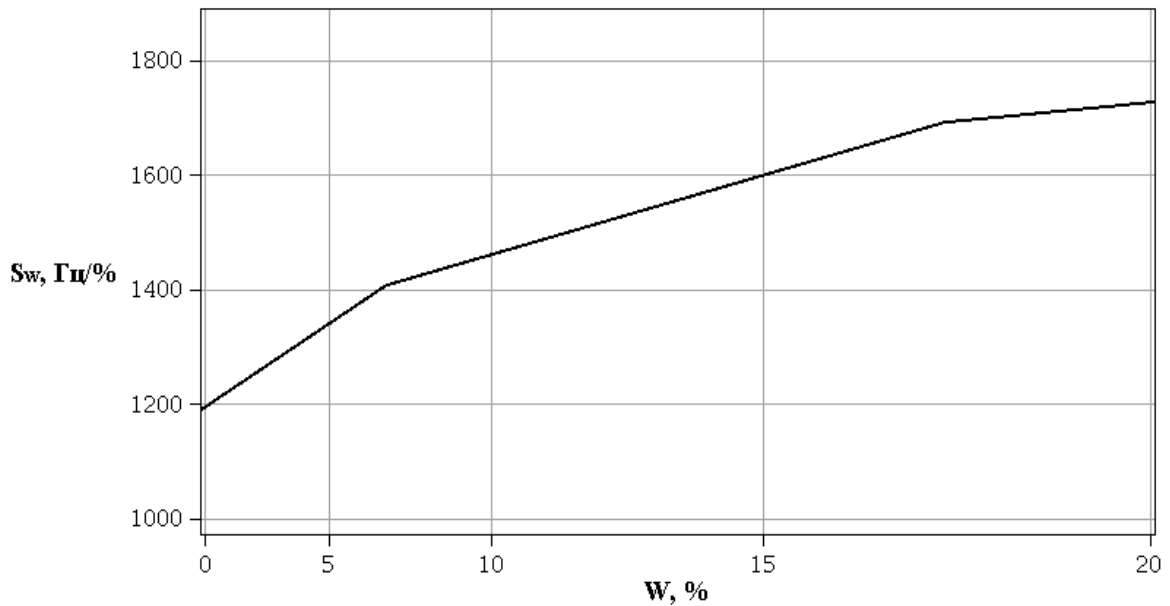


Рисунок 3.22 – Залежність чутливості РВН від зміни вологості з КЦС із циліндричними електродами

З рис. 3.22 видно, що із зміною вологості нафти від 0 до 20 %, чутливість змінюється від 1,2 кГц/% до 1,7 кГц/%.

На рис. 3.23 наведено результати моделювання зміни нормованої чутливості S_H [2] від ємності вологочутливої КЦС. Ця безрозмірна величина дозволяє визначити діапазон зміни вологочутливої ємності при якому використання РВН є найбільш ефективним, тобто досягається найбільше значення чутливості. Також за допомогою нормованої чутливості можна провести порівняння значень чутливості існуючих приладів вологості нафтопродуктів з розробленими із різними одиницями вимірювання (кГц/%, мВ/%, пФ/% тощо).

$$S_H = \frac{\Delta F \cdot C_w(W, T)}{\Delta C_w \cdot F_H}, \quad (3.17)$$

де F_H - нормувальна частота;

ΔC_w - мінімальна зміна $C_w(W, T)$;

ΔF - зміна частоти при мінімальній зміні $C_w(W, T)$.

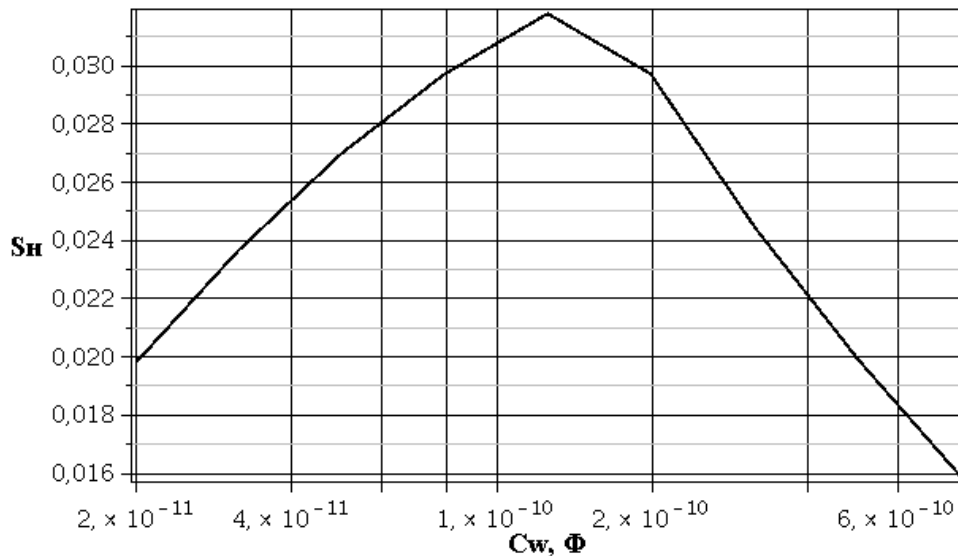


Рисунок 3.23 – Залежність нормованої чутливості радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів від ємності вологочутливої КЦС

Нормувальна частота $F_n=1$ МГц. З рис. 3.23 видно, що найбільше значення нормованої чутливості спостерігається в діапазоні від 60 пФ до 250 пФ, що є оптимальним режимом роботи радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів.

3.3 Розробка мікропроцесорної системи контролю вологості нафтопродуктів

Розвиток методів сучасної техніки неможливий без створення складних автоматизованих вимірювальних систем. Великий обсяг вимірювальних операцій і їх трудомісткість змушують приділяти значну увагу автоматизації процесу вимірювання.

Високий рівень автоматизації процесу вимірювання став можливий із застосуванням сучасних електронно-обчислювальних засобів, міні- та мікроЕОМ, сполучених з вимірювальними приладами або вбудованих в них. ЕОМ забезпечують: підвищення продуктивності процесу вимірювання завдяки автоматизації керування приладами; збільшення точності вимірювань; обробку експериментальних даних і їх виведення для індикації або реєстрації [2].

Використання вбудованих мікропроцесорів істотно спрощує роботу з приладами. Мікропроцесорні системи стали частиною електронних вимірювальних приладів, які застосовуються для вимірювання параметрів електричних сигналів, а також неелектричних фізичних величин. Використання мікропроцесорів у вимірювальній техніці в багато разів підвищило точність приладів, значно розширило їх функціональні можливості, спростило керування їх роботою, підвищило надійність, швидкодію, привело до створення програмованих, повністю автоматизованих приладів. Завдяки застосуванню мікропроцесорів стало можливим створення вимірювально-обчислювальних комплексів – автоматизованих засобів вимірювань, призначених для дослідження, контролю та випробувань складних об'єктів.

Мікропроцесорна система, введена до складу багатофункціонального засобу вимірювання, перетворює його в програмно-керований пристрій. Функціональні можливості такого пристрою визначаються записаною програмою і можуть бути легко змінені при переході до іншої програми, що зберігається в постійному запам'ятовувальному пристрої.

Підвищення точності вимірювальних приладів досягається за рахунок автоматичної компенсації (виключення) систематичної похибки, зокрема автоматичної установки нуля перед початком вимірювань, автоматичного виконання градууювальної операції (самокалібрування), здійснення самоконтролю, зменшення впливу випадкових похибок через проведення багатократних вимірювань з подальшим усереднюванням їх результатів [2].

При виконанні непрямих вимірювань мікропроцесорна система автоматично, відповідно до заданої програми, обробляє режими вимірювань, запам'ятовує результати прямих вимірювань, проводить необхідні обчислення і виводить знайдене значення вимірюваної фізичної величини на пристрої відображення інформації. Хоча вимірювання за своєю природою залишаються непрямими, експериментатор сприймає їх як прямі.

Функціональні можливості вбудованих у прилади обчислювальних засобів безперервно розширюються з розвитком елементної бази цифрової техніки, особливо мікропроцесорів.

На сьогодні мікроконтролери дають змогу з мінімальними затратами реалізувати велику номенклатуру систем управління різноманітними об'єктами і процесами, водночас інтегруючи на одному кристалі високопродуктивний процесор, пам'ять, а також набір периферійних пристроїв. Саме завдяки цьому мікроконтролери досить широко використовуються в промисловій автоматичній, контрольно-вимірювальній техніці, апаратурі зв'язку, побутовій техніці тощо. Окрім того, збільшення швидкодії (підвищення тактової частоти та вдосконалення архітектури), зниження напруги живлення, збільшення оперативної та *FLASH* пам'яті на кристалі з можливістю внутрішньосхемного програмування, введення в склад мікропроцесора складних периферійних блоків, таких як керування приводами, *USB*-інтерфейсу для можливості спільного функціонування з новими поколіннями персональних комп'ютерів та швидкодійних зовнішніх периферійних пристроїв, є основними напрямками однокристальних мікроЕОМ.

На основі розробленого в попередньому пункті радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів розроблено систему для вимірювання та контролю вологості нафти та нафтопродуктів, структурна схема якої показана на рис. 3.24, що в додатку Е (08-36-МКР.010.00.000Е1). Система працює таким чином: зміна вологості досліджуваної рідини приводить до зміни ємності КЦС, і, відповідно, до зміни частоти коливань на виході ЧГВО, далі сигнал «оцифровується» і на екрані виводиться значення вологості.

За допомогою цієї системи можна здійснювати не лише вимірювання і зберігання значень вологості протягом певного часу, а й контроль допустимого значення вологості, що задається виконуваною програмою. При перевищенні допустимого значення вологості спрацьовує пристрій сигналізації і виводиться повідомлення, що нафтопродукт не відповідає допусковому значенню (на екрані користувач бачить напис «норма» або «ненорма»).

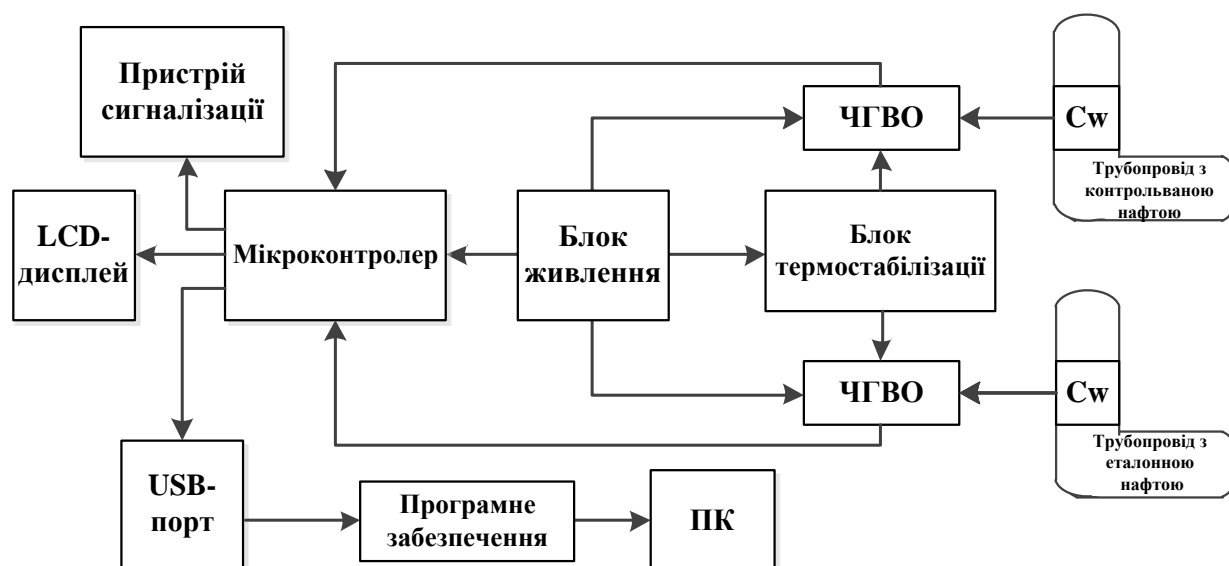


Рисунок 3.24 – Структурна схема системи на основі радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів

Принципова схема структурної схеми (див. рис. 3.24), показана на рис. 3.25, що в додатку Ж (08-36-МКР.010.00.000E2), складається з мікропроцесора з USB інтерфейсом PIC18F4550 фірми Microchip, кварцового генератора, блока живлення, LCD-дисплея WH1602C-YGH-СТК, також містить систему термостабілізації.

Система термостабілізації складається з першого термодатчика, який встановлюється разом з РВН і контролює значення температури РВН в межах $55\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Якщо температура стає меншою за $54,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, то вмикається нагрівальний елемент і РВН нагріваються до $55,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Другий та третій термодатчики встановлюється на вологочутливі КЦС для врахування впливу температури, а саме для вибору певної функції перетворення з переліку тих, які прописані у програмі при різних температурах. Використовувані термодатчики DS18B20 підключаються паралельно.

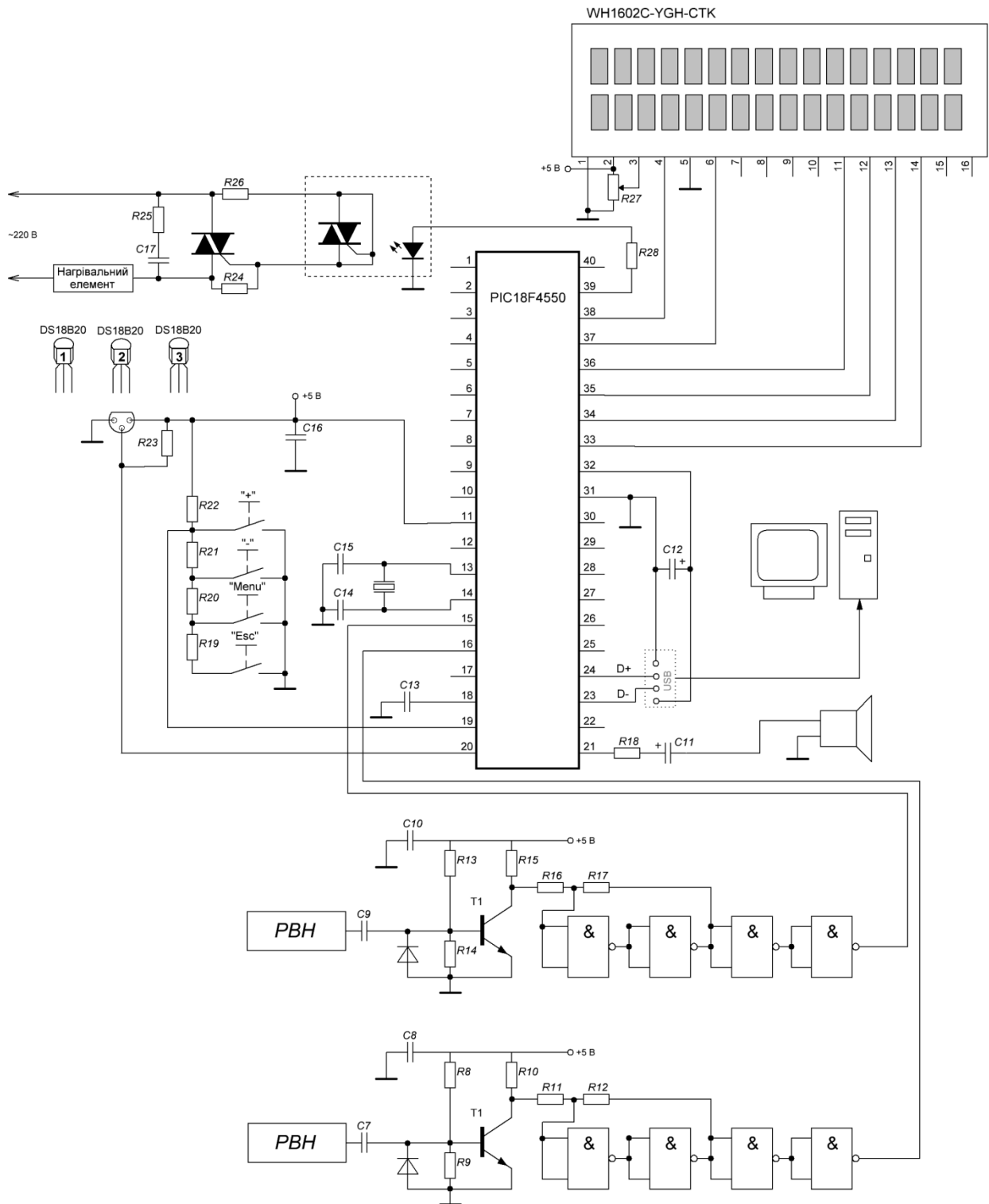


Рисунок 3.25 – Принципова схема системи контролю вологості нафти та нафтопродуктів

Інформація з РВН, чутливі елементи яких (КЦС) встановлені у трубопроводі таким чином, що один знаходиться у вимірювальній лінії, а інший

у еталонній, через вхідні вузли надходить до мікроконтролера, де відбувається вимірювання частот та вираховується їхня різниця. Результат різниці частот цих сигналів, на основі функції перетворення, записаний у мікроконтролері, вказує на процентний вміст води в нафті. Індикація результатів вимірювання вологості можлива в двох варіантах: перший – за допомогою LCD-дисплея WH1602C-YGH-СТК, другий – на екрані монітора ЕОМ.

Особливо хочеться підкреслити, що застосування розробленої мікропроцесорної системи дає змогу отримати частотний сигнал, що при необхідності може бути ефективно переданий по безпроводному каналу на відстань, наприклад, з середини технологічного приміщення до операторної кімнати.

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 математичну модель радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів на основі конденсаторної циліндричної структури в якій на відміну від існуючих, врахований вплив вологості нафтопродуктів на частоту генерації радіовимірювального перетворювача, що дало змогу отримати аналітичні залежності рівнянь чутливості та функції перетворення вологості нафтопродуктів у частоту. Отримані залежності можуть бути використані для інженерного розрахунку радіовимірювальних перетворювачів вологості нафтопродуктів.

3. Розроблено математичну модель радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів, яка, на відміну від існуючих, виконана в часовому домені, що дає можливість визначати зміну величини струмів і напруг в часі, а також спостерігати форму коливань.

4. Розроблено радіовимірювальний перетворювач вологості нафтопродуктів на основі структури р-п-р біполярного і двозатворного польового транзисторів з конденсаторною циліндричною структурою із циліндричними електродами в якому при збільшенні вологості нафти від 0 % до 20 % частота вихідного сигналу зменшується з 537,5 кГц до 506,8 кГц. Чутливість радіовимірювальний перетворювач вологості нафтопродуктів при цьому збільшується від 1,2 кГц/% до 1,72 кГц/%, а амплітуда вихідного сигналу складає 1,6 В. Розбіжність теоретичних та експериментальних результатів не перевищує 2%.

5. Розроблено мікропроцесорну систему для контролю та вимірювання вологості нафтопродуктів на основі радіовимірювального перетворювача

вологості нафтопродуктів з вологочутливою конденсаторною циліндричною структурою.

б. Розраховано нормовану чутливість, що дозволяє провести порівняння значень чутливості існуючих приладів вологості нафтопродуктів з розробленими із різними одиницями вимірювання. В результаті чого становлено, що оптимальним режимом роботи радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів є використання вологочутливої конденсаторної циліндричної структури в діапазоні зміни ємності від 60 пФ до 250 пФ.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Аналіз комерційного потенціалу розробки радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів

Таблиця 4.1- Основні техніко-економічні показники аналога і нової розробки

Показники	Одиниця виміру	Аналог	Прилад, що проектується	Відношення параметрів
Напруга живлення	В	12	5	2,4
Діапазон вимірювання вологості	%	0 % - 15 %	0 % - 30 %	2
Середній час відновлення працездатного стану, не більше	год	8	6	1,3
Середнє на працювання на відмову вимірювача, не менше	год	6000	7 000	1,2
Ресурс приладу, не менше	год	14 000	16 000	1,1
Вартість обслуговування	грн	44	25	0,57
Ціна	грн	3400	2800	0,82

Проаналізуємо рівень науково-дослідної роботи яка пов'язана з дослідженням приладу вимірювання вологості. Виходячи з відповідних вимог НТП(Науково-технічний прогрес), доцільно орієнтуватися на час проведення НДДКР(Науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи) 2 роки і менше (+2), при чому технічні показники результатів плануються нижче рівня кращих

світових зразків (-2); наявність можливості отримання авторських свідоцтв на винахід – часткові можливості (0); а строк окупності витрат 3-4 роки (+2).

В таблиці 4.2 наведено критерії та бальна оцінка для визначення наукового та технічного рівня науково-дослідної роботи

Таблиця 4.2 – 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	+2
	3 роки	+1
	4 роки	0
	5-6 років	-1
	7 років і більше	-2
Технічні показники результатів розробки	Вище рівня кращих світових зразків	+2
	На рівні кращих світових зразків	0
	Ниже рівня кращих світових зразків	-2
Можливості отримання авторських свідоцтв на винахід	Впевненість в отриманні авторських свідоцтв	+2
	Часткові можливості	0
	Можливості немає	-1
Строк окупності витрат	2 роки і менше	+3
	3-4 роки	+2
	5 років	0
	6-7 років	-1
	8 років і більше	-2

В таблиці 4.3 наведено можливі результати оцінки теми НДДКР.

Таблиця 4.3 – 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 4.2 та 4.3, та підрахувавши загальну суму балів(+2-2+0+2=+2), робимо висновок, що дана науково-дослідна робота з дослідження приладувимірювання вологості є досить перспективною.

4.1.1 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 4.4. [91]

Таблиця 4.4 - Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Критерій	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 роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів

4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї

9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зведемо до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	експерт		
	1	2	3
	Бали, виставлені експертами:		
1. Технічна здійсненність концепції	2	2	3
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	3	3	3
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	2	2	2
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	2	3	2
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	2	2	3
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	1	1	1
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	2	2	3
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	3	3	2
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	3	2	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових)	1	2	1
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	1	3	3
12. Практична здійсненність (розробка документів)	3	3	3
Сума балів	25	28	28
Середньоарифметична сума балів <u>СБ</u>	<u>27,0</u>		

За даними таблиці 4.5 зробимо висновок щодо рівня комерційного потенціалу дослідження. При цьому доцільно користуватися рекомендаціями, наведеними в таблиці 4.6. [91]

Таблиця 4.6 - Рівні комерційного потенціалу розробки

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

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки становить 27,0 бала, що, згідно таблиці 4.6, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки середній).

4.1.2. Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості для нового рішення

В процесі дослідження необхідно розглянути основні технічні показники, пристрою, що може бути спроектований в результаті проведення дослідження приладу вимірювання вологості. Ці показники по-різному впливають на загальну якість проектної розробки.

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розрахуємо за формулою [92]

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (4.1)$$

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

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

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

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

Відносні значення β_i для різних випадків розраховують за такими формулами:

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

$$\beta_i = \frac{I_{ni}}{I_{ai}}, \quad (4.2)$$

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

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

$$\beta_i = \frac{I_{ai}}{I_{ni}}; \quad (4.3)$$

Використовуючи наведені залежності можемо проаналізувати та порівняти техніко-економічні характеристики аналогу та майбутньої розробки на основі отриманих наявних та проектних показників, а результати порівняння зведемо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Порівняння основних параметрів пристрою що проектується та аналога.

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів в новій розробці до аналога	Питома вага показника
Напруження живлення	В	12	5	2,4	0,25
Діапазон вимірювання вологості	%	0 % - 15 %	0 % - 30 %	2	0,15
Середній час відновлення працездатного стану, не більше	год	8	6	1,3	0,2
Середня напруженість на відмову вимірювача, не менше	год	6000	7 000	1,2	0,15
Ресурс приладу, не менше	год	14 000	16 000	1,1	0,25

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

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 2,4 * 0,25 + 2 * 0,15 + 1,3 * 0,2 + 1,2 * 0,15 + 1,1 * 0,25 = 1,62.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, проєктований компонент переважає існуючі аналоги приблизно в 1,62 рази.

4.1.3. Визначення рівня конкурентоспроможності розробки

Проектування виробу розпочинається з прогнозу його конкурентоспроможності. В процесі попереднього оцінювання доцільності детального проектування нової розробки здійснимо оцінювання рівня конкурентоспроможності, яке проведемо визначенням сукупності параметрів, що підлягають оцінюванню.

Загальні технічні та економічні характеристики пристрою представлено в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Основні техніко-економічні показники аналога та пристрою, що проектується

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Напруга живлення	В	12	5	2,4	0,25
Діапазон вимірювання вологості	%	0 % - 15 %	0 % - 30 %	2	0,15
Середній час відновлення працездатного стану, не більше	год	8	6	1,3	0,2
Середнє на працювання на відмову вимірювача, не менше	год	6000	7 000	1,2	0,15

Ресурс приладу, не менше	год	14 000	16 000	1,1	0,25
Вартість обслуговування	грн	44	25	0,57	0,3
Ціна	грн	3400	2800	0,82	0,7

Одиничний параметричний індекс розраховується за формулою[93]

$$q_i = \frac{P_i}{P_{базі}} \quad (4.4)$$

де q_i – одиничний параметричний індекс, розрахований за i -м параметром;

P_i – значення i -го параметра виробу;

$P_{базі}$ – аналогічний параметр базового виробу-аналога, з яким проводиться порівняння.

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

Груповий показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами розраховується як добуток частинних показників за кожним параметром за формулою[93]

$$I_{гп} = \prod_{i=1}^n q_i, \quad (4.5)$$

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

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

n – кількість нормативних параметрів, які підлягають оцінюванню.

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

Значення групового параметричного індексу за технічними параметрами визначається з урахуванням вагомості (частки) кожного параметра[93]

$$I_{гп} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (4.6)$$

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

q_i – одиничний параметричний показник i -го параметра;

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

n – кількість технічних параметрів, за якими оцінюється конкурентоспроможність.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці 4.8.

$$I_{mn} = 2,4 * 0,25 + 2 * 0,15 + 1,3 * 0,2 + 1,2 * 0,15 + 1,1 * 0,25 = 1,62.$$

Груповий параметричний індекс за економічними параметрами розраховується за формулою[93]

$$I_{\text{ЕП}} = \sum_{i=1}^m q_i \cdot \beta_i, \quad (4.6)$$

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

q_i – економічний параметр i -го виду;

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

m – кількість економічних параметрів, за якими здійснюється оцінювання.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці .

$$I_{\text{ЕП}} = 0,57 * 0,3 + 0,82 * 0,7 = 0,75.$$

На основі групових параметричних індексів за нормативними, технічними та економічними показниками розрахуємо інтегральний показник конкурентоспроможності за формулою[93]

$$K_{\text{ИТГ}} = I_{\text{ИП}} \cdot \frac{I_{\text{ТП}}}{I_{\text{ЕП}}}, \quad (4.7)$$

$$K_{\text{ИИТ}} = 1 * 1,62 / 0,75 = 2,17.$$

Інтегральний показник конкуренто-спроможності $K_{\text{ИИТ}} > 1$, отже проєктований пристрій переважає аналог за своїми техніко-економічними показниками.

Висновки

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки становить 27,0 балів, що свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки середній). При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, удосконалений пристрій переважає існуючі аналоги приблизно в 1,62 рази. Отже можна зробити висновок про доцільність проведення НДДКР з дослідження та розробки приладу вимірювання вологості.

4.2 Розрахунок витрат на проведення НДДКР з дослідження приладу 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 приладу 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 [91]

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (4.8)$$

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

T_p – число робочих днів в місяці, 21 дн;

t – число днів роботи розробника (дослідника).

Проведені розрахунки зводимо до таблиці.

Таблиця 4.9 – 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	10230,00	487,14	21	10230,00
2. Консультант	9200,00	438,10	5	2190,48
3. Інженер-схемотехнік	9200,00	438,10	15	6571,43
4. Інженер-конструктор радіоелектронних систем	9150,00	435,71	15	6535,71
5. Лаборант	5250,00	250,00	18	4500,00
Разом				30027,62

Витрати на основну заробітну плату працівників (Z_p), що здійснюють підготовку робочих місць необхідних для дослідження приладу 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 [91]

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \cdot K_c, \quad (4.9)$$

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

n - число робіт по видах та розрядах;

K_c - коефіцієнт співвідношень, який установлений в даний час Генеральною тарифною угодою між Урядом України і профспілками, $K_c = 1,75$;

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

C_i визначається за формулою [91]

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_p \cdot T_{zm}}, \quad (4.10)$$

де, M_m – прожитковий мінімум працездатної особи, грн., $M_m = 2197,00$ грн.;

K_i - тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду;

T_p - число робочих днів в місяці, $T_p = 21$ дн.;

T_{zm} - тривалість зміни, $T_{zm} = 8$ годин.

Проведені розрахунки винесемо до таблиці 4.10

Таблиця 4.10 – Витрати на основну заробітну плату працівників

Найменування робіт	Трудомісткість, нормо-годин	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
1. Встановлення допоміжного обладнання	8,0	2	1,1	25,17	201,39
2. Встановлення програмного забезпечення	4,5	4	1,35	30,90	139,03
3. Встановлення вологоутримуючих компонентів	4,0	3	1,2	27,46	109,85
4. Монтаж блоків системи	12,0	5	1,7	38,91	466,86
5. Формування баз даних результатів вимірювань	42,0	3	1,2	27,46	1153,43
6. Підготовка лабораторії	8,0	2	1,1	25,17	201,39
Разом					2271,95

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

$$Z_d = Z_o \cdot 10 / 100\%, \quad (4.11)$$

$$З_д = (30027,62 + 2271,95) \cdot 10 / 100 \% = 3229,96 \text{ (грн.)}$$

Нарахування на заробітну плату дослідників та працівників.

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

$$H_з = (З_о + З_д) \cdot 22\% / 100\%, \quad (4.12)$$

$$H_з = (30027,62 + 2271,95 + 3229,96) \cdot 22\% / 100\% = 7816,50 \text{ (грн.)}$$

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 [91]:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot Ц_i \cdot K_i, \quad (4.13)$$

де, - H_i - витрати матеріалу i -го найменування, кг;

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

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

n - кількість видів матеріалів,

Проведені розрахунки зводимо до таблиці.

Таблиця 4.11 – Витрати на основні матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Одиниця виміру	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Папір	уп.	93,00	4	372,00
Диск оптичний	шт.	10,20	6	61,20
Канцелярськеприладдя	компл.	95,00	4	380,00
Текапаперова	шт	25,00	6	150,00
Тонер Canon 12X	кг	6890,00	0,03	206,70
Флеш-пам'ять 32 Gb	шт	299,00	2	598,00
Флюс ФКСН	кг	65,00	0,05	3,25
Каніфоль	кг	110,00	0,3	33,00
Припій ПОС-61	кг	752,00	0,1	75,20
Скло-текстоліт фольгований односторонній	кг	178,00	1	178,00
Хлорнезалізо	кг	150,00	0,2	30,00
Всього				2087,35

З врахуванням транспортних витрат вартість матеріалів складе

$$M = 2087,35 \cdot 1,1 = 2296,09 \text{ (грн.)}$$

Витрати на комплектуючі, що були використані при дослідженні приладувимірювання вологості, розраховуються за формулою:

$$H = \sum_{i=1}^n H_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (4.14)$$

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

C_i - покупна ціна комплектуючих i -го виду, грн.;

K_i - коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = 1,10$;

n - кількість видів матеріалів.

Проведені розрахунки зводимо до таблиці.

Таблиця 4.12 –Витрати на комплектуючі для формування компонентів для НДДКР

Найменуваннякомплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
Конденсатори	2	5,00	10,00
Сенсор вологості	1	150,00	150,00
Корпус	1	40,00	40,00
Тумблер	1	15,00	15,00
Резистори	3	0,50	1,50
Транзистори	2	17,00	34,00
Катушка індуктивності	1	2,00	2,00
Джерелонапруги	1	25,00	25,00
Стабілізаторнапруги	1	29,00	29,00
Роз'єми	3	12,00	36,00
Всього			342,50

Витрати на комплектуючі з урахуванням транспортних витрат складають:

$$H = 342,50 \cdot 1,10 = 376,75 \text{ (грн.)}$$

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

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_г} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.15)$$

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;

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

Проведені розрахунки необхідно звести до таблиці 4.12.

Таблиця 4.13 - Величина амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн
Аналітичний комплекс обробки даних	33500,00	5	1	558,33
Система метрологічного аналізу	24200,00	5	1	403,33
Генератор сигналу	8530,00	4	1	177,71
Гігрометр автоматичний еталонний	14620,00	5	1	243,67
Оргтехніка	13240,00	4	1	275,83
Приміщення лабораторії	332000,00	25	1	1106,67
Всього				2765,54

Витрати на силову електроенергію на проведення досліджень розраховують за формулою [91]

$$V_e = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_n, \quad (4.16)$$

де, V – вартість 1 кВт-години електроенергії, $V = 2,91$ грн./кВт –година;

P – встановлена потужність обладнання, кВт.;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин. ;

K_n – коефіцієнт використання потужності.

Всі проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 – Витрати на електроенергію при проведенні досліджень

Найменування обладнання	Кількість годин роботи обладнання, год.	Встановлена потужність, кВт	Коефіцієнт використання потужності	Величина оплати
Аналітичний комплекс обробки даних	160	0,65	0,95	287,51

Система метрологічного аналізу	100	0,35	0,95	96,76
Генератор сигналу	52	0,32	0,95	46,00
Гігрометр автоматичний еталонний	100	0,65	0,95	179,69
Оргтехніка	140	0,86	0,95	332,85
Всього				942,81

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

$$I = (30027,62 + 2271,95) * 200\% / 100\% = 64599,14 \text{ (грн.)}$$

Загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи.

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

$$B = 30027,62 + 2271,95 + 3229,96 + 7816,50 + 2087,35 + 376,75 + 2765,54 + 942,81 + 64599,14 = 114117,61 \text{ (грн.)}$$

Загальна(повна) вартість всієї НДДКР визначається за формулою

$$B_{\text{заг}} = \frac{B}{\alpha}, \quad (4.17)$$

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

$$B_{\text{заг}} = \frac{B}{\alpha} = \frac{114117,61}{0,9} = 126797,00, \text{ грн.}$$

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

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\beta}, \quad (4.18)$$

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

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\beta} = \frac{126797,00}{1} = 126797,00 \text{ грн.}$$

4.2.1. 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

$$\Delta\Pi_i = \sum (\Delta C_0 \cdot N + C_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\nu}{100}\right), \quad (4.19)$$

де $\Delta\Pi_0$ - 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;

Π_0 - 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 2020 р. ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$.

p - коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати $p = 0,2...0,3$;

v - ставка податку на прибуток. У 2020 році $v = 18\%$.

В результаті впровадження результатів наукової розробки покращується якість нашої розробки, що дозволяє підвищити ціну її реалізації на 200 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року - на 100 шт., протягом другого року - ще на 200 шт., протягом третього року - ще на 300 шт., а протягом четвертого року – на 100 шт. Орієнтовно: реалізація аналогічного пристрою до впровадження результатів наукової розробки складала 700 шт., а її ціна - 2450 грн.

Спрогнозуємо збільшення чистого прибутку підприємства від впровадження результатів наукової розробки у кожному році відносно базового.

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом першого року складе

$$\Delta\Pi_1 = [200 \cdot 700 + (2450 + 200) \cdot 100] \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 855799 \text{ (грн.)}.$$

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

$$\Delta\Pi_2 = [200 \cdot 700 + (2450 + 200) \cdot (100 + 200)] \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 153879,00 \text{ (грн.)}.$$

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

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_3 &= [200 \cdot 700 + (2450 + 200) \cdot (100 + 200 + 100)] \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = \\ &= 284718,00 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_4 &= [200 \cdot 700 + (2450 + 200) \cdot (100 + 200 + 300 + 100)] \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = \\ &= 328331,00 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

4.2.2 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=**126797,00** 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 **66654,00** грн відносно базового року.

У другому році - збільшення чистого прибутку на **153879,00** грн (відносно базового року).

У третьому році - збільшення чистого прибутку на **284718,00** грн (відносно базового року),

У четвертому - на **328331,00** грн (відносно базового року).

Тоді рисунок, що характеризує рух платежів (інвестицій та додаткових прибутків) буде мати вигляд, наведений на рис 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 [91]

$$E_{абс} = (ПП - PV), \quad (4.20)$$

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

PV - теперішня вартість інвестицій $PV = 3B$, грн.

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

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t}, \quad (4.21)$$

де $\Delta\Pi$ - 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”.

$$\begin{aligned} ПП &= \frac{66654,00}{(1+0,12)^2} + \frac{153879,00}{(1+0,12)^3} + \frac{284718,00}{(1+0,12)^4} + \frac{328331,00}{(1+0,12)^5} = \\ &= 46287,00 + 89050,00 + 137306,00 + 131978,00 = 404592,00 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Розрахуємо абсолютну ефективність інвестицій, вкладених у реалізацію проекту. Отримаємо

$$E_{абс} = (404592,00 - 126797,00) = 277795,00 \text{ (грн.)}.$$

Оскільки $E_{abc} > 0$, 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_e . Для цього використаємо формулу

$$E_e = \sqrt[T]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (4.22)$$

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

PV - теперішня вартість інвестицій $PV = 3B$, грн;

T - життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_e = \sqrt[T]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 = \sqrt[5]{1 + \frac{277795,00}{126797,00}} - 1 = 0,26$$

Розраховану величину E_e 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

$$\tau = d + f, \quad (4.23)$$

де d - середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2020 році в Україні (0,08...0,12);

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

$$\tau = d + f = 0,12 + 0,05 = 0,17.$$

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій.

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

$$T_{ок} = \frac{1}{E_г}. \quad (4.24)$$

$$T_{ок} = \frac{1}{E_г} = \frac{1}{0,26} = 3,83 \text{ (роки)}.$$

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

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Основне завдання охорони праці – мінімізація вірогідності виникнення захворювань та виробничого травматизму під час забезпечення регламентованих параметрів умов праці.

В цьому розділі проводиться розгляд небезпечних, шкідливих та уражаючих для людини та оточуючого довкілля факторів, які виникають під час проведення розробки радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів. Тут розглядаються, зокрема, технічні рішення з виробничої санітарії та гігієни праці, визначення кількості вогнегасників, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення розробки, безпека у надзвичайних ситуаціях.

В процесі розробки даного пристрою на працюючих впливають ті чи інші небезпечні і шкідливі виробничі фактори (НШВФ) фізичної та психофізіологічної груп згідно [94].

Фізичні небезпечні і шкідливі виробничі фактори: понижена або підвищена температура повітря робочої зони, підвищений рівень шуму на робочому місці, підвищений рівень статичної електрики, відсутність або недостатність природного освітлення, недостатня освітленість робочої зони, пряма або відбита блискучість, підвищена яскравість світла.

Психофізіологічні НШВФ: нервово-психічні перевантаження: розумове перенапруження, монотонність праці, перенапруження аналізаторів.

5.1 Технічні рішення з виробничої санітарії та гігієни праці

5.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони

Вибираємо для приміщення, де проводяться роботи з розробки радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іб.

У відповідності із [95] допустимі показники мікроклімату у робочій зоні для холодного та теплого періодів року наведені в таблиці 5.1 .

Таблиця 5.1 – Допустимі параметри мікроклімату в приміщенні [92]

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С для робочих місць		Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	Іб	20-24	17-25	75	≤0,2
Теплий	Іб	21-28	19-30	60 при 27°С	0,1-0,3

Перепад температури повітря за висотою робочої зони для всіх категорій робіт дозволяється до 3°С. Для опромінення менше 25% поверхні тіла людини, допустима інтенсивність теплового опромінення – 100 Вт/м².

Повітря робочої зони не повинно містити шкідливих речовин з концентраціями вище гранично допустимих концентрацій (ГДК), які використовуються при проектуванні виробничих приміщень (будівель), обладнання, технологічних процесів, вентиляцій, для контролю за якістю виробничого середовища. ГДК шкідливих речовин, які утворюються у даному виробничому приміщенні наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	Параметр, що нормується	Значення	Клас небезпеки
Пил нетоксичний	ГДК, мг/м ³	0,15	4
Іони n ⁺ , n ⁻	число іонів в 1 см ³ повітря	50000	–

Для встановлення нормованих показників мікроклімату та чистоти повітря робочої зони передбачено такі заходи: в приміщенні має бути розміщена

система опалення для холодного і кондиціонування для теплого періодів року; щоденне вологе прибирання; припливно-витяжна система вентиляції, а при несприятливих погодних умовах кондиціонування.

5.1.2 Виробниче освітлення

З метою створення гігієнічних раціональних умов на робочих місцях значні вимоги висуваються до якісних та кількісних параметрів освітлення.

З точки зору задач зорової роботи в приміщенні, де проводяться роботи з розробки радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів, згідно [96] знаходимо, що вони відповідають III розряду зорових робіт. Вибираємо контраст об'єкта з фоном – середній, а характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд зорових робіт *в*.

Нормовані значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) та мінімальні значення освітленості при штучному освітленні приведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Нормовані значення КПО та мінімальні освітленості при штучному освітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізн., мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість для штучного освітлення, лк			КПО, %	
						комбіноване		загальне	Природне освітлення (бокове)	Суміщене освітлення (бокове)
						всього	у т. ч. від загального			
Високої точності	0,3-0,5	III	в	середній	середній	750	200	300	2	1,2

Оскільки приміщення розташоване у м. Вінниця (друга група забезпеченості природним світлом), а світлові проїми розташовані за азимутом 0° , то для таких умов КЕО визначатиметься за формулою [96, 97]

$$e_N = e_H m_N [\%], \quad (5.1)$$

де e_H – табличне значення КЕО, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – номер групи забезпеченості природним світлом.

За відомими значеннями одержимо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N. б} = 2 \cdot 0,9 = 1,8 (\%);$$

$$e_{N. с} = 1,2 \cdot 0,9 = 1,1 (\%).$$

З метою забезпечення нормативних значень показників освітлення передбачено такі заходи: за недостатнього природного освітлення у світлу пору доби доповнення штучним завдяки використанню газорозрядних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення; використання штучного освітлення в темну пору доби.

5.1.3 Виробничі віброакустичні коливання

Зважаючи на те, що при використанні пристроїв крім усього іншого обладнання використовується устаткування, робота якого супроводжується шумом та вібрацією, необхідно передбачити захист від шуму та вібрації.

Визначено, що приміщення, в якому відбувається робота з розробки радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів може містити робочі місця із шумом та вібрацією, який виходить від сусідніх промислових

приміщень. Для запобігання травмуванню працюючих під дією шуму та вібрації вони підлягає нормуванню. Головним документом з питань виробничого шуму, що діє в нашій країні, є [98], згідно з яким нормовані рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях в виробничих приміщеннях не повинні перевищувати значень, що приведені в таблиці 5.4. Норми виробничих вібрацій наведені в таблиці 5.5 для 3-ї категорії (технологічна) типу "в".

Таблиця 5.4 – Нормовані рівні шуму і еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБА
3	6	1	2	5	10	20	40	80	
1,5	3	25	50	00	00	00	00	00	
8	7	6	5	4	45	42	40	38	50
6	1	1	4	9					

Таблиця 5.5 – Нормовані рівні вібрації [96]

Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц						Коректовані рівні віброприскорення, дБА
2	4	8	16	31,5	63	
36	33	33	39	45	51	

З метою забезпечення нормованих показників віброакустичних коливань в приміщенні запропоновано такі заходи: періодичне змащування підшипників вентиляторів системи вентиляції; проведення контролю рівнів шуму та вібрації.

5.1.4 Виробничі випромінювання

Аналіз умов праці показав, що приміщення, де виконується робота з розробки радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів може містити електромагнітні випромінювання. Гранично допустимі рівні електромагнітних полів наведені в таблиці 5.6. Для забезпечення захисту та досягнення нормативних рівнів випромінювань потрібно використовувати екранування робочого місця і скорочення часу опромінення за рахунок перерв на відпочинок.

Таблиця 5.6 – Гранично допустимі рівні електромагнітних полів (безперервне випромінювання, амплітудна або кутова модуляція)

Номер діапазону	Метричний розподіл діапазонів	Частоти	Довжина хвиль, λ	ГДР, В/м
5	Кілометрові хвилі (низькі частоти, НЧ)	30-300 кГц	10-1 км	25
6	Гептаметрові хвилі (середні частоти, СЧ)	0,3-3 МГц	1-0,1 км	15
7	Декаметрові хвилі (високі частоти, ВЧ)	3-30 МГц	100-10 м	$3 \cdot \lg \lambda$
8	Метрові хвилі (дуже високі частоти, ДВЧ)	30-300 МГц	10-1 м	3

5.2 Промислова та пожежна безпека під час проведення розробки радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів

5.2.1 Безпека щодо організації робочих місць

Конструкція робочого місця, взаємне розташування його елементів та його розміри повинні відповідати антропометричним, фізіологічним та психофізіологічним характеристикам людини, а також характеру праці [97].

Площа, на якій розташовується одне робоче місце для обслуговуючого персоналу, має становити не менше $6,0 \text{ м}^2$, об'єм приміщення – не менше ніж 20 м^3 , висота – не менше $3,2 \text{ м}$ [98].

Кольорове оздоблення інтер'єру приміщення повинно відповідати вказівкам з проектування кольорової обробки інтер'єрів приміщень будівель промислових підприємств. Поверхня підлоги повинна бути рівною, без вибоїн, не слизькою, зручною для вологого прибирання, мати антистатичні властивості. Не дозволяється застосовувати під час оснащення інтер'єру полімерні матеріали, які забруднюють повітря шкідливими хімічними речовинами та сполуками.

5.2.2 Електробезпека

Причинами ураження електричним струмом у цьому приміщенні можуть бути: робота під напругою при ремонтних роботах, несправність устаткування, випадковий дотик до струмоведучих частин або металевих частин, що опинилися під напругою. Згідно [99] це приміщення відноситься до приміщень із підвищеною небезпекою ураження електричним струмом в наслідок наявності значної (понад 75 %) вологості. Через це безпека експлуатації електрообладнання повинна гарантуватись комплексом заходів, що передбачають застосування ізоляції струмоведучих частин, захисних блокувань, захисного заземлення тощо [100].

5.2.3 Пожежна безпека

Відповідно до [101] приміщення, в якому проводиться робота з розробки радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів, відноситься до категорії пожежної небезпеки В. Дане приміщення відноситься до 3-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних

матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1, Г2. До елементів покриттів не висовуються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горючого покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій приміщення, що розглядається наведені в таблиці 5.7. В таблиці 5.8 наведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Таблиця 5.7 – Значення мінімальних меж вогнестійкості приміщення [101]

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Східчасті майданчики	Плити та інші несучі конструкції	Елементи покриття	
	Несучі та східчасті клітки	Самонесучі	Зовнішні несучі	Перегородки				Плити, прогони	Балки, ферми
3	REI 120	REI 60	E 15	EI 15	R 120	R 60	REI 45	нн	нн
	M0	M0	M0	M1	M0	M0	M1	нн	нн

Примітка. R – втрати несучої здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізолювальної спроможності; M – показник здатності будівельної конструкції поширювати вогонь (межа поширення вогню); M0 – межа поширення вогню дорівнює 0 см; M1 – $M \leq 25$ см – для горизонтальних конструкцій; $M \leq 40$ см – для вертикальних і похилих конструкцій; M2 – $M > 25$ см – для горизонтальних конструкцій; $M > 40$ см – для вертикальних і похилих конструкцій, нн – не нормується.

Таблиця 5.8 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд [103]

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія пожежної безпеки	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м, при щільності людського потоку в загальному проході, осіб/м ²			Кількість людей на 1 м ширини евакуиходу	Протипожежні розриви, м, при ступені їх вогнестійкості			Найбільша кількість поверхів	Площа поверху в межах пожежного відсіку, м ² , для кількості поверхів		
			до 1	2-3	4-5		I,II	III	IV,V		1	2	3 і більше
до 15	В	3	100	60	40	110	9	12	15	3	5200	3500	2600

Примітки: н.о. – не обмежується, н.н. – не нормується.

Встановлюємо, що приміщення, де проводиться робота з розробки, має бути оснащено пожежним щитом, а також ємністю з піском [102].

Визначимо кількість вогнегасників, якщо розміри приміщення (м): $30 \times 8 \times 3,4$.

Відповідно до ОНТП 24-86, приміщення, де використовуються персональні комп'ютери, слід оснащувати переносними вуглекислотними або порошковими вогнегасниками ємністю 3 л з розрахунку: один вогнегасник на кожні 20 м² підлоги приміщення.

Отже, орієнтовна кількість вогнегасників визначається за формулою:

$$n = \frac{S_{II}}{S_{III}} \text{ [шт]}, \quad (5.2)$$

де S_{II} – площа підлоги приміщення, м²;

S_{III} – площа підлоги, що припадає на один вогнегасник ($S_{III} = 20 \text{ м}^2$).

Згідно відомих розмірів приміщення знайдемо площа підлоги приміщення:

$$S_{II} = ab \text{ [м}^2\text{]}, \quad (5.3)$$

де a – довжина приміщення, м;

b – ширина приміщення, м.

Таким чином, площа підлоги приміщення складає

$$S_{II} = 30 \cdot 8 = 240 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Отже, визначаємо орієнтовну кількість вогнегасників:

$$n = 240 / 20 = 12 \text{ (шт)}.$$

Отримане значення заокруглюємо до найближчого більшого значення
 $n = 12$ шт.

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Визначення області працездатності радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.

Радіовимірювальний перетворювач вологості нафтопродуктів може використовуватися як у цивільних, так і в спеціальних і військових

енергопостачальних об'єктах. Тому існує ймовірність впливу на пристрій іонізуючих випромінювань, електромагнітного імпульсу та інших загрозливих чинників НС. Вплив іонізуючого випромінювання на радіоелементи викликає зворотні та незворотні процеси, внаслідок яких може бути порушена робота схеми, що призведе до виходу з ладу апаратури.

Радіовимірвальні перетворювачі вологості є розробкою подвійного застосування. В умовах НС та в особливий період вони повинні працювати без перебоїв, тому визначення області працездатності та розробка заходів щодо покращення роботи пристрою в умовах ЕМІ та при дії іонізуючих випромінювань є досить актуальною.

При проходженні потоку гамма-опромінення через елементи РЕА, в них виникають вільні носії електричних зарядів, внаслідок переміщення яких виникає хибний імпульс, який може призвести до збою в роботі пристрою. Особливо чутливими до радіації елементами є елементи з високим вмістом металів, яким в свою чергу властива висока концентрація вільних носіїв зарядів. Таким чином радіація в РЕА викликає зворотні і незворотні процеси, внаслідок яких можлива зміна майже всіх електричних та експлуатаційних характеристик, що залежать від проходження процесів іонізації, порушення структури матеріалів, що призводить до пошкодження апаратури [101].

Під час дії електромагнітного імпульсу (ЕМІ) у тілах, що проводять електричний струм на частку секунди виникає імпульс електричного струму і з'являється різниця потенціалів відносно землі. Під дією цих напруг може відбутись пошкодження РЕА, ліній зв'язку, вихід з ладу запобіжників і т.д. Досить часто вплив імпульсу в десятки кВ призводить до пожеж, які як вторинний фактор ураження є вкрай небезпечним як для людей так і для апаратури.

5.3.1 Визначення області працездатності радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів в умовах дії іонізуючих випромінювань

В радіовимірювальному перетворювачі вологості використовуються елементи, до складу яких входять матеріали: метали, неорганічні матеріали, напівпровідники та різні органічні сполуки (діелектрики, смоли та інші). Серед цих матеріалів метали найбільш чутливі до радіації, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв.

Провівши аналіз пристрою визначаємо потужність експозиційних доз для кожного елемента і знаходимо елемент, який найбільш чуттєвий до дії іонізуючого випромінювання.

Таблиця 5.9- Граничні значення рівнів радіації елементів пристрою

№	Блоки елементів	Елементи РЕА	$P_{гр.i}$, Рад/год	$P_{гр}$, Рад/год
1	Блок давача	Конденсатори К50-35,К10-17	10^5	10^4
		Резистори С2-23	10^6	
		Транзистори КТ3102А	10^5	
		Мікросхеми FT232RL, АТ24С512	10^4	
2	Блок передавача	Діоди АЛ307	10^5	10^5
		Транзистори	10^5	

Аналізуючи дані таблиці 5.1, визначаємо, що найбільшого впливу зазнають мікросхеми та діелектричні матеріали. В них незворотні дії виникають при рівні p_i , яка для радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів в цілому є граничною, отже, $p_{гран}=10^4$ Рад/с.

В якості критерію стійкості роботи пристрою використовують значення рівня радіації гамма-випромінювання, яке розраховується за формулою [102]:

$$p'_{гран} = p_{гран} \cdot K_H \cdot K_{посл} [Pa\partial/c], \quad (5.4)$$

де $p_{гран}$ – межа стійкості роботи приладу, Рад/с;

K_H – коефіцієнт надійності елементної бази, $K_H = 0,9 \dots 0,95$.

Для радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів доцільно прийняти $K_H = 0,92$;

$K_{посл}$ – коефіцієнт послаблення радіації приймемо: $K_{посл} = 2$.

Тоді:

$$p'_{гран} = 10^4 \cdot 0,92 \cdot 2 = 18,4 \cdot 10^3 (Pa\partial/c).$$

Визначимо допустимий час роботи РЕА в заданих умовах:

$$t_{доп} = \frac{D_{зр} \cdot K_{посл} + 2P_1 \cdot \sqrt{t_n}}{2P_1} \quad (5.5)$$

$$t_{доп} = \frac{10^4 \cdot 2 + 2 \cdot 4,8 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,8} = 1325,21(\text{год}).$$

5.3.2 Визначення області працездатності радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів в умовах дії електромагнітного імпульсу

За критерій стійкості роботи радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів в умовах дії електромагнітного імпульсу можна прийняти коефіцієнт безпеки [102], який визначається за формулою:

$$K_B = 20 \cdot \lg \frac{U_\partial}{U_\Gamma} \geq 40 [\partial B], \quad (5.6)$$

де U_Γ – напруга наведення в горизонтальних струмопровідних частинах пристрою, В;

U_∂ – допустиме коливання напруги живлення, В.

Визначаємо допустиме коливання напруги живлення

$$U_{\delta} = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot \Delta \quad (5.7)$$

де $U_{ж}$ – напруга живлення приладу ($U_{ж} = 30\text{В}$);

N - допустиме коливання напруги живлення ($N = \pm 10\%$).

$$U_{\delta} = 30 + \frac{30}{100} \cdot 10 = 33 (\text{В}).$$

В основному всі електричні провідники радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів розташовані в горизонтальній площині. Визначимо максимальну очікувану напругу в горизонтальних лініях з рівності:

$$U_{\Gamma} = \frac{U_{\delta}}{100} [B], \quad (5.8)$$

$$U_{\Gamma} = \frac{33}{100} = 0,33 (B).$$

Вертикальна складова напруженості електричного поля визначається з

$$U_{\Gamma} = E_B \cdot l_{\Gamma}, \quad (5.9)$$

звідки

$$E_B = \frac{U_{\Gamma}}{l_{\Gamma}} [B/m], \quad (5.10)$$

де l_{Γ} – максимальна довжина горизонтального контуру електричної схеми, м ($l_{\Gamma} = 0,12\text{м}$).

$$E_B = \frac{0,33}{0,12} = 2,75 (B/m).$$

Згідно з розрахунками радіовимірювальний перетворювач вологості нафтопродуктів здатний працювати в умовах дії електромагнітного імпульсу при напруженості вертикальної складової електричного поля $E_v \leq 2,75 \text{ В / м}$.

На підставі виконаних розрахунків можна зробити висновок про те, що даний прилад здатний стійко працювати в середині будівлі, яка має мінімальний коефіцієнт послаблення радіації 2, в умовах дії іонізуючого випромінювання при потужності дози випромінювання до 18400 Рад / с.

Також в даному розділі було визначено область працездатності радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів в умовах дії загрозливих чинників НС. Визначено потужність експозиційної дози для кожного елемента, яка в цілому для пристрою є граничною і складає: $p_{гран}=10^4$ Рад/с.

Висновки до розділу

Під час написання цього розділу було опрацьовано такі питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії, визначення кількості вогнегасників, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення розробки радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів, безпека у надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз існуючих засобів та пристроїв контролю вологості нафтопродуктів показав, що створення та використання радіовимірювальних перетворювачів вологості нафтопродуктів на основі конденсаторних циліндричних структур, з використанням в якості автогенераторів транзисторних структур з від'ємним опором, що працюють за принципом "вологість нафтопродуктів - частота" є перспективним науковим напрямком, оскільки він реалізує високі економічні та метрологічні показники пристроїв і можливість технологічної сумісності з мікроелектронними пристроями обробки інформації. Використання від'ємного опору напівпровідникових приладів компенсує втрати в коливальному контурі, що значно підвищує чутливість приладів для вимірювання вологості нафтопродуктів та їх точність до вимірюваного параметру - вологості нафтопродуктів.

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

3. Розроблено фізико-математичну модель первинного перетворювача вологості нафтопродуктів на основі конденсаторної циліндричної структури з циліндричними електродами, що дозволяє визначити значення електричної ємності первинного перетворювача вологості нафтопродуктів.

4. В результаті математичного моделювання отримано аналітичний вираз для визначення електричної ємності первинного перетворювача вологості нафтопродуктів, що може бути використаний для інженерного розрахунку первинного перетворювача вологості нафтопродуктів.

5. Проведено експериментальні дослідження, які показали, що чутливість вологочутливої КЦС з циліндричними електродами в діапазоні зміни вологості нафтопродуктів від 0 % до 20 % складає від 5,7 до 13,5 пФ/%. Розбіжність теоретичних та експериментальних даних не перевищує 2 %.

6. Розроблено математичну модель радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів на основі конденсаторної циліндричної структури в якій на відміну від існуючих, врахований вплив вологості нафтопродуктів на частоту генерації радіовимірювального перетворювача, що дало змогу отримати аналітичні залежності рівнянь чутливості та функції перетворення вологості нафтопродуктів у частоту. Отримані залежності можуть бути використані для інженерного розрахунку радіовимірювальних перетворювачів вологості нафтопродуктів.

7. Розроблено математичну модель радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів, яка, на відміну від існуючих, виконана в часовому домені, що дає можливість визначати зміну величини струмів і напруг в часі, а також спостерігати форму коливань.

8. Розроблено радіовимірювальний перетворювач вологості нафтопродуктів на основі структури р-п-р біполярного і двозатворного польового транзисторів з конденсаторною циліндричною структурою із циліндричними електродами в якому при збільшенні вологості нафти від 0 % до 20 % частота вихідного сигналу зменшується з 537,5 кГц до 506,8 кГц. Чутливість радіовимірювальний перетворювач вологості нафтопродуктів при цьому збільшується від 1,2 кГц/% до 1,72 кГц/%, а амплітуда вихідного сигналу складає 1,6 В. Розбіжність теоретичних та експериментальних результатів не перевищує 2%.

9. Розраховано нормовану чутливість, що дозволяє провести порівняння значень чутливості існуючих приладів вологості нафтопродуктів з розробленими із різними одиницями вимірювання. В результаті чого становлено, що оптимальним режимом роботи радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів є використання вологочутливої конденсаторної циліндричної структури в діапазоні зміни ємності від 60 пФ до 250 пФ.

10. Розроблено мікропроцесорну систему для контролю та вимірювання вологості нафтопродуктів на основі радіовимірювального

перетворювача вологості нафтопродуктів з вологочутливою конденсаторною циліндричною структурою.

11. 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.

12. В розділу охорони праці були розглянуті аспекти 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. Мікроелектронні сенсори фізичних величин : науково-навчальне видання / [В. Вуйцік, З. Ю. Готра, В. В. Григор'єв та ін.] ; під ред. З. Ю. Готри. - [том 1]. – Львів : Ліга-Прес, 2002. – 475 с.
2. Осадчук В. С. Частотні перетворювачі для контролю вологості нафтопродуктів : навчальний посібник / Осадчук В. С., Осадчук О. В., Звягін О. С. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 152 с.
3. Осадчук В. С. Сенсори вологості : навчальний посібник. / Осадчук В. С., Осадчук О. В., Крилик Л. В. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2003. – 208 с. – ISBN 966-641-055-9
4. Берлинер Марк Александрович. Измерения влажности. / Берлинер М. А. – М. : Энергия, 1973. – 400 с.
5. Богачук В. В. Методи та засоби вимірювального контролю вологості порошкоподібних матеріалів : монографія / Богачук В. В., Мокін Б.І. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2008. – 141 с. – ISBN 978-966-641-245-7.
6. Датчики измерительных систем. / [Ж. Аш, П. Андре, Ж. Бофрон и др.] ; [пер. с фран. А. С. Обухов]. - [книга 2]. – М. : Мир, 1992. – 424 с. – ISBN 5-03-001642-2.
7. Фрайден Дж. Современные датчики : справочник / Дж. Фрайден. – Москва : Техносфера, 2005. – 592 с. – ISBN 5-94836-050-4.
8. Пат. 34264 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/56. Сенсор вологості / Готра З. Ю., Готра О. З., Камуда К., Дубницька І. Є. ; заявник та патентовласник держ. ун-т. "Львівська політехніка". - №99063429; заявл. 18.06.1999; опубл. 15.02.2001; Бюл. № 1.
9. Пат. 37047 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/56. Сенсор вологості / З. Ю. Готра, О. М. Мельник. ; заявник та патентовласник держ. ун-т. "Львівська політехніка". - №2000031459; заявл. 14.03.2000; опубл. 16.04.2001; Бюл. № 3.
10. Пат. 34240 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/56. Сенсор вологості / З. Ю. Готра, О. З. Готра, К. Камуда, І. Є. Дубницька. ; заявник та патентовласник

держ. ун-т. "Львівська політехніка". - №99063374; заявл. 17.06.1999; опубл. 15.02.2001; Бюл. № 1.

11. Пат. 70166 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/56. Термопарний вологомір / Ю. О. Скрипник, В. Р. Курко, М. О. Суглоба. ; заявник та патентовласник Київський нац. ун-т технологій та дизайну. - №20031212734; заявл. 29.12.2003; опубл. 15.09.2004; Бюл. № 9.

12. Пат. 47924 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/56. Термоелектричний спосіб контролю вологості газових середовищ / Ю. О. Скрипник, В. Р. Курко. ; заявник та патентовласник Київський нац. ун-т технологій та дизайну. - № 2001117580; заявл. 06.11.2001; опубл. 15.07.2002; Бюл. № 7.

13. Zhang M. A rapid-response humidity sensor based on BaNbO₃ nanocrystals / M. Zhang, C. Hu, H. Liu, Y. Xiong, Z. Zhang // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2009. - №136. - pp. 128 – 132.

14. Arshaka K. A ceramic thick film humidity sensor based on mzn ferrite / K. Arshaka, K. Twomey, D. Egan // Sensors. – 2002. - №2. - pp. 50 – 61.

15. Dickey C. Room temperature ammonia and humidity sensing using highly ordered nanoporous alumina films / C. Dickey, K. Varghese, G. Ong, D. Gong, M. Paulose, A. Grimes. // Sensors. – 2002. - №2. - pp. 91 – 110.

16. Löfgren L. Low-power humidity sensor for RFID applications / L. Löfgren, B. Löfving // Cardiff University. Published by Whittles Publishing Ltd. - 2008.

17. Tao B. Capacitive humidity sensors based on Ni/SiNWs nanocomposites / B. Tao, J. Zhang, F. Miao, H. Li, L. Wan, Y. Wang. // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2009. - №136. - pp. 144 – 150.

18. Pat. 0075445 USA, Int. Cl. G01R 27/26. Moisture sensor with capacitive measuring element and method of determining air humidity / Yves Luthi. - 22.04.2004.

19. Pat. 0055503 USA, Int. Cl. H01C 10/10. Capacitive humidity sensor / Katsunori Tanida. - 16.03.2006.

20. Pat. 0316673 USA, Int. Cl. G01N 27/22. Moisture sensor / R. Hoofman, J. Michelon. - 25.12.2008.

21. Duncan G. Measuring relative humidity in agricultural environments / G. Duncan, R. Gates, M. Montross. // Biosystems and agricultural engineering, University of Kentucky. – 2005.

22. Pat. 0024110 USA, Int. Cl. G01N 27/12. Circuit configuration and method for measuring humidity / Gerhard NiKolaus. - 31.01.2008.

23. Pat. 2430752 GB, Int. Cl. G01D 5/24. Sensing system with output frequency dependent on sensor capacitance / Steven A Rosenau, Michael Louis Frank. - 04.04.2007.

24. Lee S. CMOS humidity sensor system using carbon nitride film as sensing materials / S. Lee, J. Lee, S. Chowdhury. // Sensors. – 2008. - №8. - pp. 2662 – 2672.

25. Пат. 20134 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/56. Датчик відносної вологості повітря / Ю. Г. Завьялов, В. І. Мартиненко, А. О. Лунін, А. П. Нагайченко. ; заявник та патентовласник Київський нац. ун-т технологій та дизайну. - №95083677; заявл. 04.08.1995; опубл. 25.12.1997; Бюл. № 6.

26. Пат. 11764 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/20. Сенсор вологості / З. Ю. Готра, І. П. Глушик. ; заявник та патентовласник Національний університет «Львівська політехніка» - №200505581; заявл. 10.06.2005; опубл. 16.01.2006; Бюл. № 1.

27. Пат. 46385 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/12. Вимірювач вологості / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. - №2001074689; заявл. 05.07.2001; опубл. 15.05.2002; Бюл. № 5.

28. Пат. 46483 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/12. Напівпровідниковий пристрій для виміру вологості / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик. ; заявник та патентовласник Вінн. нац. техн. ун-т. - №2001075284; заявл. 24.07.2001; опубл. 15.05.2002; Бюл. № 5.

29. Пат. 33120 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 5/00. Пристрій для вимірювання вологості / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Е. В. Осадчук. ; заявник та патентовласник Вінн. держ. техн. ун-т. - №98126390; заявл. 03.12.1998; опубл. 15.02.2001; Бюл. № 1.

30. Пат. 68386 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/66. Спосіб визначення точки роси природного газу по волозі та пристрій для його здійснення / І. О. Дубчак, А. І. Лур'є, М. Ф. Ткаченко, О. Л. Швейкін, В. П. Плехоткін, О. В. Хвостова. ; заявник та патентовласник Український наук.-досл. ін-т природних газів. - №2001021175; заявл. 19.02.2001; опубл. 16.08.2004; Бюл. № 8.

31. Пат. 80214 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/66. Пристрій для визначення температури точки роси природного газу / А. І. Лур'є, В. П. Плехоткін, О. В. Хвостова, М. Ф. Ткаченко, О. О. Острожинський. ; заявник та патентовласник дочірнє підприємство "Наук.-досл. ін-т нафтогаз. пром-ті". - №a200602141; заявл. 27.02.2006; опубл. 27.08.2007; Бюл. № 13.

32. Пат. 55142 Российская Федерация, МКІ G 01 N 25/56. Конденсационный гигрометр / Ю. Н. Головач, И. В. Скогорев. ; заявитель и патентообладатель ОАО "ВЭЛНИИ". - №2006106361/22; заявл. 04.08.2005; опубл. 28.02.2006; Бюл. № 3.

33. Пат. 33323 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/56. Спосіб вимірювання вологості газів / А. Н. Сухель, В. А. Михайлець, Ю. Д. Лукомський. ; заявник та патентовласник А. Н. Сухель, В. А. Михайлець, Ю. Д. Лукомський. - №u200805819; заявл. 05.05.2008; опубл. 10.06.2008; Бюл. № 11.

34. Пат. 6459 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/66. Спосіб вимірювання вологості газу / Б. І. Педько, Г. Т. Кірін, В. Б. Коток, І. І. Волков, Ю. М. Кулик. ; заявник та патентовласник дочірня компанія "Укртрансгаз". - №20040806900; заявл. 17.08.2004; опубл. 16.05.2005; Бюл. № 5.

35. Пат. 19725 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 5/00. Конденсаційний гігрометр / Й. Й. Білінський, В. В. Онушко. ; заявник та патентовласник Вінн. нац. техн. ун-т. - №u200608580; заявл. 31.07.2006; опубл. 15.12.2006; Бюл. № 12.

36. Пат. 37873 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/00. Датчик для вимірювання вологості газового середовища / Ю. М. Бугай. ; заявник та патентовласник ТОВ "Українські технології". - №2000042394; заявл. 26.04.2000; опубл. 15.10.2002; Бюл. № 10.

37. Пат. 79525 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 22/04. Волоконно-оптичний гігрометр / А. К. Сандлер, Ю. М. Цюпко. ; заявник та патентовласник А. К. Сандлер, Ю. М. Цюпко - №201212093; заявл. 22.10.2012; опубл. 25.04.2013; Бюл. № 8.

38. Грушка І. Г. Методи і засоби вимірювання вологості матеріалів та середовищ / Грушка І. Г. // Наук.праці УкрНДГМІ. - 2005. – №254. – С. 169 - 187.

39. Пат. 40938 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 22/04. Пристрій для вимірювання об'ємного вологовмісту і нейроно-поглинальних параметрів геологічних середовищ / С. Т. За вольський, В. В. Кулик, В. С. Месропян, І. О. Майстренко. ; заявник та патентовласник Ін-т геофізики НАН України. - №2000116661; заявл. 24.11.2000; опубл. 15.05.2003; Бюл. № 5.

40. Куцевол О. М. Радіочастотні методи вимірювання вологості зерна / Куцевол О. М., Поджаренко В. О. // Вісник ВПІ. - 2005. - №3. - С. 5 - 7. – ISSN 1997-9266.

41. Пат. 75443 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Спосіб вимірювання вологості капілярно-пористих матеріалів / В. О. Поджаренко, М. О. Куцевол, О. М. Куцевол. ; заявник та патентовласник Вінн. держ. техн. ун-т. - №2004031485; заявл. 01.03.2004; опубл. 17.04.2006; Бюл. № 4.

42. Куцевол О. М. Мікропроцесорний вологомір зерна / Куцевол О. М., Куцевол М. О., Поджаренко В. О. // Вісник ВПІ. - 2005. - №4. - С. 16 - 18. - ISSN 1997-9266.

43. Пат. 54195 Российская Федерация, МКІ G 01 N 27/22. Влагомер сыпучих веществ / В. В. Шорохов, А. И. Макаров, И. В. Маркин. ; заявитель и патентообладатель ООО "Лепта". - №2006101098/22; заявл. 23.07.2005; опубл. 17.01.2006; Бюл. № 1.

44. Пат. 55453 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Спосіб вимірювання вологості та пристрій для його здійснення / Рудик А. В. ; заявник та патентовласник Вінн. держ. техн. ун-т. - №99116350; заявл. 23.11.1999; опубл. 15.04.2003; Бюл. № 4.

45. Пат. 75700 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Спосіб вимірювання вологості / Куцевол О. М., Куцевол М. О., Поджаренко В. О. ; заявник та патентовласник Вінн. нац. техн. ун-т. - №2004032000; заявл. 18.03.2004; опубл. 15.05.2006; Бюл. № 5.

46. Пат. 79660 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/56, G 01 N 25/60. Датчик вологості сипучих матеріалів у потоці / В. Ф. Клабуков, К. В. Соснін, А. В. Просяник. ; заявник та патентовласник ТОВ наук.-вир-че під-во "Агропромавтоматизація". - №а200506495; заявл. 01.07.2005; опубл. 10.07.2007; Бюл. № 10..

47. Лур'є А. Й. Система контролю за вологістю природного газу. Організація та основні напрями діяльності / Лур'є А. Й., Хвостова О. В. // Нафтова і газова промисловість. – 2009. - №2. - С. 60 – 62. - ISSN 0548-1414.

48. Пат. 136284 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 9/36. Електрод давача кондуктометричного вологоміра деревини / Л. О. Флуд, С. І. Яцишин. ; заявник та патентовласник Державний вищий навчальний заклад «Національний лісотехнічний університет України» - №201902229; заявл. 05.03.2019; опубл. 12.08.2019; Бюл. № 15.

49. Пат. 77818 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/56, G 01 N 27/22. Спосіб виміру вологості матеріалів, зокрема солей йодидів лужних металів / Б. В. Гриньов, О. Ю. Волошко, Б. Г. Заславський, О. М. Кісіль, О. В. Колесніков, В. Л. Самолов, Д. С. Сафронов, О. Г. Шишкін. ; заявник та патентовласник Ін-т сцинтиляційних матеріалів НАН України. - №20041210819; заявл. 27.12.2004; опубл. 15.01.2007; Бюл. № 1.

50. Пат. 61037 Российская Федерация, МКІ G 01 N 27/22. Устройство для измерения влажности кожевенного сырья / Д. С. Лычников, М. В. Антонова, Н. В. Берлова, И. М. Гордиенко, Л. К. Земцова, С. А. Крылова, Н. П. Кутепова, Г. В. Луковенко, А. И. Сапожникова. ; заявитель и патентообладатель Московская гос. акад. вет. медицины и биотехнологии им. К. И. Скрябина. - №2006138176/22; заявл. 12.02.2006; опубл. 30.10.2006; Бюл. № 17.

51. Пат. 35081 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 22/04. Пристрій для контролю вологості тканини / А. П. Храпливий, О. М. Баржник, О. П. Єдинович, Ю. С. Решетняк. ; заявник та патентовласник Херсонський держ. тех. ун-т. - №99084553; заявл. 10.08.1999; опубл. 15.03.2001; Бюл. № 2.

52. Пат. 9734 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/02. Пристрій для вимірювання вологості матеріалів з безперервним режимом роботи в часі / Ю. В. Шабатура, Ю. О. Дмитрієв, В. П. Бараболя, В. В. Богачук. ; заявник та патентовласник Вінн. нац. техн. ун-т. - №u200502686; заявл. 24.03.2005; опубл. 17.10.2005; Бюл. № 10.

53. Пат. 54155 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Вологомір / Провальний Р. А. ; заявник та патентовласник Терноп. держ. техн. ун-т. - №2002054279; заявл. 24.05.2002; опубл. 17.02.2003; Бюл. № 2.

54. Пат. 134336 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Вологомір / О. В. Березюк ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет - №201812515; заявл. 17.12.2018; опубл. 10.05.2019; Бюл. № 9.

55. Нефтепродукты. Термины и определения : ГОСТ 26098-84. - [Действует от 1984-07-01]. — М. : Гос. ком. СССР по стандартам, 1984. — 11 с. — (Межгосударственный стандарт).

56. Масла трансформаторные. Технические условия : ГОСТ 982-80. - [Действует от 1982-01-01]. — М. : Стандартиформ, 2001. — 6 с. — (Межгосударственный стандарт).

57. Масла промышленные. Технические условия : ГОСТ 20799-88. - [Действует от 1990-01-01]. — М. : Стандартиформ, 2006. — 5 с. — (Межгосударственный стандарт).

58. Пат. 29839 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 25/56. Спосіб кількісного визначення вмісту води в паливі та паливно-мастильних матеріалах / В. П. Кувачов, В. Ф. Мовчан, Д. А. Катюха. ; заявник та патентовласник Таврійський держ. агротехн. ун-т. - №u200711612; заявл. 22.10.2007; опубл. 25.01.2008; Бюл. № 1.

59. Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды : ГОСТ 2477-65. - [Действует от 1966-01-01]. — М. : Стандартинформ, 2002. — 6 с. — (Межгосударственный стандарт).

60. Стенцель Й.І. Метрологія та технологічні вимірювання в хімічній промисловості. Аналітичні прилади і методи контролю. Ч.2. : навч. Посібник / Стенцель Й.І. – Луганськ : вид-во Східноукраїнського нац. ун-ту, 2000. – 263 с. – ISBN 966-590-229-6.

61. Патент №1769098 Российской Федерации, G 01 N 22/04, 1989. Проточный измеритель влажности нефтепродуктов/ Булгаков А. Б. 23.07.2007 № РД0024451, опубликовано: 10.07.2009 БИ: 19/2009

62. Pat. 4240028 USA, Int. Cl. G01R 27/26. Means and method for determining water saturation of oil / Lorne A. Davis, Jr. - №33937; filed 27.04.1979; print 16.12.1980.

63. Осадчук В. С. Напівпровідникові перетворювачі інформації : навчальний посібник / Осадчук В. С., Осадчук О. В. – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 208 с.

64. Пат. 84682 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 22/00, G 01 N 27/02, G 01 N 27/12, G 01 N 27/22. Волоконно-оптичний вологомір / І. Г. Грушка, Я. І. Грушка. ; заявник та патентовласник І. Г. Грушка, Я. І. Грушка. - №a200500714; заявл. 26.01.2005; опубл. 25.11.2008; Бюл. № 22.

65. Нефть и нефтепродукты. Диэлькометрический метод определения влажности : ГОСТ 14203-69. - [Действует от 1970-01-01]. — М. : Стандартинформ, 2006. — 6 с. — (Межгосударственный стандарт).

66. Пат. 51222 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Ємнісний датчик вологості / О. В. Заболотний, М. Д. Кошовий, В. А. Заболотний ; заявник та патентовласник Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» - №2002020867; заявл. 04.02.2002; опубл. 15.11.2002; Бюл. № 11.

67. Пат. 40939 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Первинний перетворювач вологості нафтопродуктів / О. В. Заболотний, М. Д. Кошовий, А. Н. Сатаров ;

заявник та патентовласник Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» - №200814590; заявл. 18.12.2008; опубл. 27.04.2009; Бюл. № 8.

68. Пат. 107722 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Первинний перетворювач вологості нафтопродуктів адаптивного вологоміра / О. В. Заболотний, М. Д. Кошовий, К. Ю. Голуб ; заявник та патентовласник Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» - №201303175; заявл. 15.03.2013; опубл. 10.02.2015; Бюл. № 3.

69. Осадчук В. С. Температурні та оптичні мікроелектронні частотні перетворювачі: навч. посіб. / Осадчук В. С., Осадчук О. В., Вербицький В. Г. – Вінниця: ВНТУ, 2001. – 195 с. - ISBN 966-641-038-9.

70. Пат. 44927 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/12. Пристрій для визначення вологості / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, О. С. Звягін, К. Ю. Іоніна. ; заявник та патентовласник Вінн. нац. техн. ун-т. - №u200902969; заявл. 30.03.2009; опубл. 26.10.2009; Бюл. № 20.

71. Звягін О. С., Орленко О. В. Автогенераторний пристрій для вимірювання вологості нафтопродуктів // Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 18-29 травня 2020 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу:

https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/vntu_2020_netpub.pdf

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

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

74. Козловський В. О. Інноваційний менеджмент: Навчальний посібник / В. О. Козловський – Вінниця : ВНТУ, 2007. – 210 с.

75. Козловський В. О., Лесько О. Й. Бізнес-планування: Навчальний посібник / В. О. Козловський, О. Й. Лесько [2-е вид., доп. та переробл.] – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, ВНТУ, 2008. – 241 с.

76. Козловський В. О., Лесько О. Й. Інноваційний менеджмент: Пра-

ктикум / В. О. Козловський, О. Й. Лесько. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 166 с.

77. ГОСТ 12.0.003-74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

78. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

79. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.

80. Пособие по расчету и проектированию, естественного, искусственного и совмещенного освещения НИИСФ – М.: Стройиздат. 1985. – 384 с.

81. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

82. ДСН 3.3.6.03999. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.

83. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

84. Методичні вказівки до опрацювання розділу "Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях" в дипломних проектах і роботах студентів спеціальностей, що пов'язані з функціональною електронікою, автоматизацією та управлінням / Уклад. О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 64 с.

85. ДНАОП 0.00-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – К. : Держнаглядохоронпраці, 1998. – 382 с.

86. ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.

87. ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.

88. НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників.

89. СНиП 2.09.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.

90. ДСанПіН 3.3.6-096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.

91. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами наукового напрямку економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. В.О. Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.
92. Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – Вінниця : ВДТУ, 2003. – 75с.
93. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепка – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.
94. ГОСТ 12.0.003-74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
95. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
96. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
97. Пособие по расчету и проектированию, естественного, искусственного и совмещенного освещения НИИСФ – М.: Стройиздат. 1985. – 384 с.
98. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
99. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.
100. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
101. 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.
102. Правила улаштування електроустановок. 2-е вид., перероб. і доп. – Х: "Форт", 2009. – 736 с.

103. ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.
104. ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
105. НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників.
106. СНиП 2.09.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.

Додаток А
(обов'язковий)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри РТ ВНТУ,
д.т.н., професор
_____ О.В. Осадчук
“ 26 ” _____ 09 2020 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
Радіовиміррювальний перетворювач вологості нафтопродуктів
08–36.МКР.010.00.000 ТЗ

Керівник роботи:
_____ к. т. н., доцент Звягін О.С.
“ ___ ” _____ 2020 р.

Розробив студент гр. РТ–19м д/в
_____ Орленко О.В.
“ ___ ” _____ 2020 р.

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету № 214 « 25 » 09 2020 р. та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: “ 03 ” вересня 2020 р.

Дата закінчення: “10” грудня 2020 р.

2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою роботи є розробка та дослідження радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів на основі транзисторної структури з від’ємним опором.

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

Предмет дослідження – статичні та динамічні характеристики радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від’ємним опором.

Основними завданнями роботи є:

- проаналізувати існуючі перетворювачі вологості нафтопродуктів та обґрунтувати переваги частотних перетворювачів вологості на основі напівпровідникових структур з від’ємним опором по відношенню до існуючих;
- розробити фізико–математичну модель ємнісного сенсора вологості нафтопродуктів;
- розробити математичну модель радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів на основі транзисторної структури з від’ємним опором з врахуванням впливу вологості на чутливий ємнісний сенсор та дослідити її характеристики;
- виконати експериментальну перевірку залежностей електричних параметрів та характеристик розроблених математичних моделей;

- розробити мікропроцесорну систему контролю вологості нафтопродуктів з використанням розробленого радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів.

- дослідження питань охорони праці.

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 групи РТ–19м д/в Орленко Олександр Володимирович.

5. Вимоги до виконання МКР

Пропонується виконати розробку радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів.

Пристрій повинен забезпечувати наступні функції та параметри:

- напруга живлення не більше 9 В,
- струм споживання не більше 40 мА,
- діапазон вимірювання вологості від 0 % до 20 %,
- амплітуда вихідного сигналу не менше 1,0 В,
- діапазон робочих частот 400 кГц – 700 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	13.09.2020	Проведено огляд літературних джерел. Вибрана тема	Узгодження теми МКР по кафедрі
2.	Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів	14.09.2020	20.09.2020	Проведений аналіз літературних джерел по даній тематиці. Підготовлений матеріал основних розділів	Вступ
3.	Затвердження теми. Розробка технічного завдання	21.09.2020	25.09.2020	Розроблене ТЗ	Наказ ВНТУ про затвердження теми. Додаток А
4.	Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми	26.09.2020	09.10.2020	Проведений аналіз. Розроблені схеми пристрою	Вступ Розділ 1-2 Звіт по переддипломній практиці
5.	Електричні розрахунки. Експериментальне дослідження	10.10.2020	25.10.2020	Проведені розрахунки та дослідження	Розділ 3
6.	Розділ моделювання	26.10.2020	04.11.2020	Проведено моделювання	Результати моделювання
7.	Розробка Графічної частини МКР	05.11.2020	15.11.2020	Плакати. Структурні та електричні схеми	Графічна частина

8.	Охорона праці ОП	16.11.2020	19.11.2020	Частина БЖД	Розділ 5
9.	Аналіз економічної ефективності розробки	19.11.2020	22.11.2020	Частина Економіка	Розділ 4
10.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	23.11.2020	29.11.2020	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
11.	Нормоконтроль	30.11.2020	01.12.2020	Підпис нормоконтроля	Оформлена ПЗ та графічна частина
12.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР	02.12.2020	04.12.2020	Позитивні відзиви	Відзив. Рецензія
13.	Захист МКР ЕК	11.12.2020	14.12.2020	Позитивний захист	Протокол ЕК

7. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи буде розроблено:

- структурну схему радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів;
- схему електричну принципову радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів;
- еквівалентну схему радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів;
- моделювання радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів;
- систему для контролю та вимірювання вологості нафтопродуктів;
- дослідження питань охорони праці.

8. МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ 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 РОЗРОБЛЕНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання роботи повинна містити:

- розроблене технічне завдання;
- структурну схему радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів;
- схему електричну принципову радіовимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів;
- схему системи для контролю та вимірювання вологості нафтопродуктів;
- дослідження питань охорони праці.

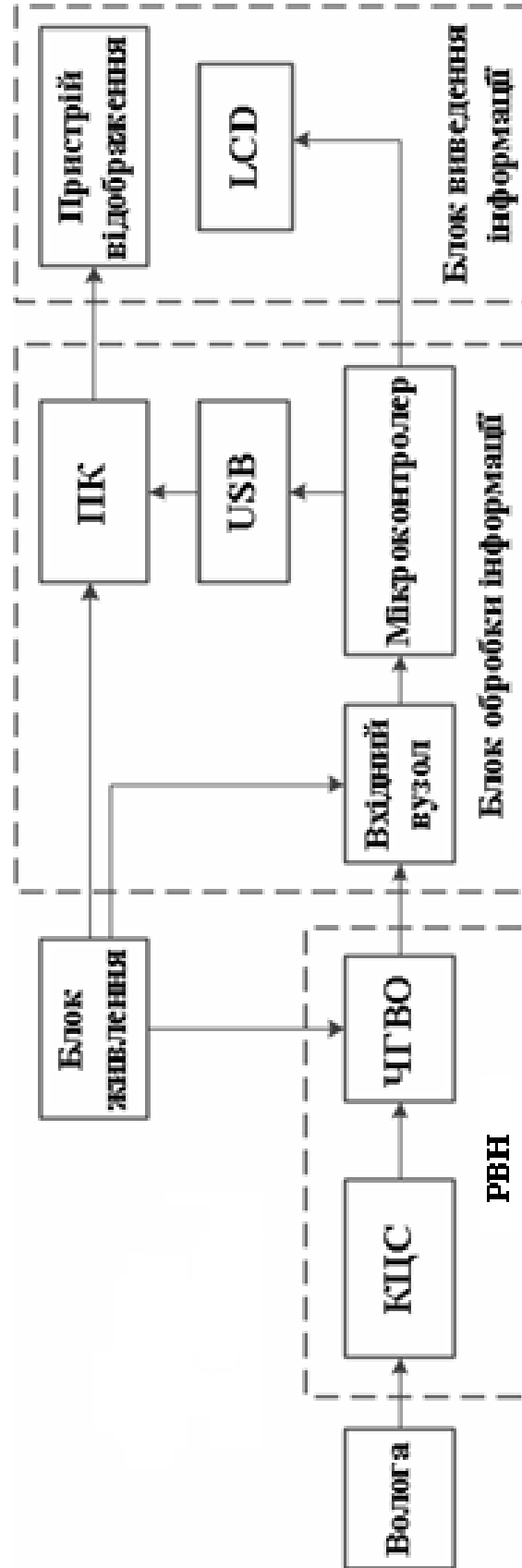
11. ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

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

Додаток Б
(обов'язковий)

**РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ВОЛОГОСТІ
НАФТОПРОДУКТІВ**

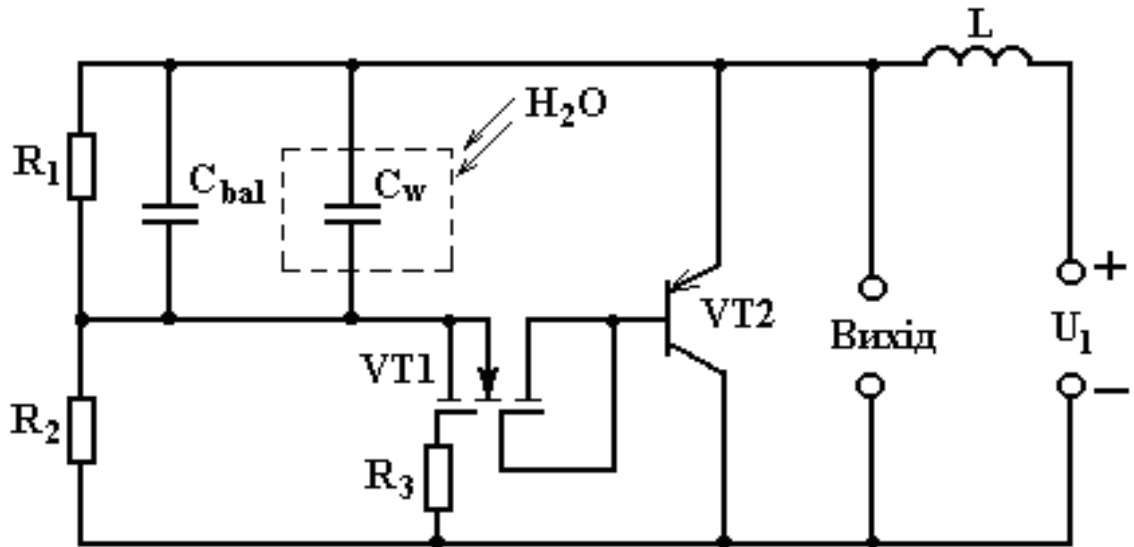
Структурна схема



Додаток В
(обов'язковий)

**РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ВОЛОГОСТІ
НАФТОПРОДУКТІВ**

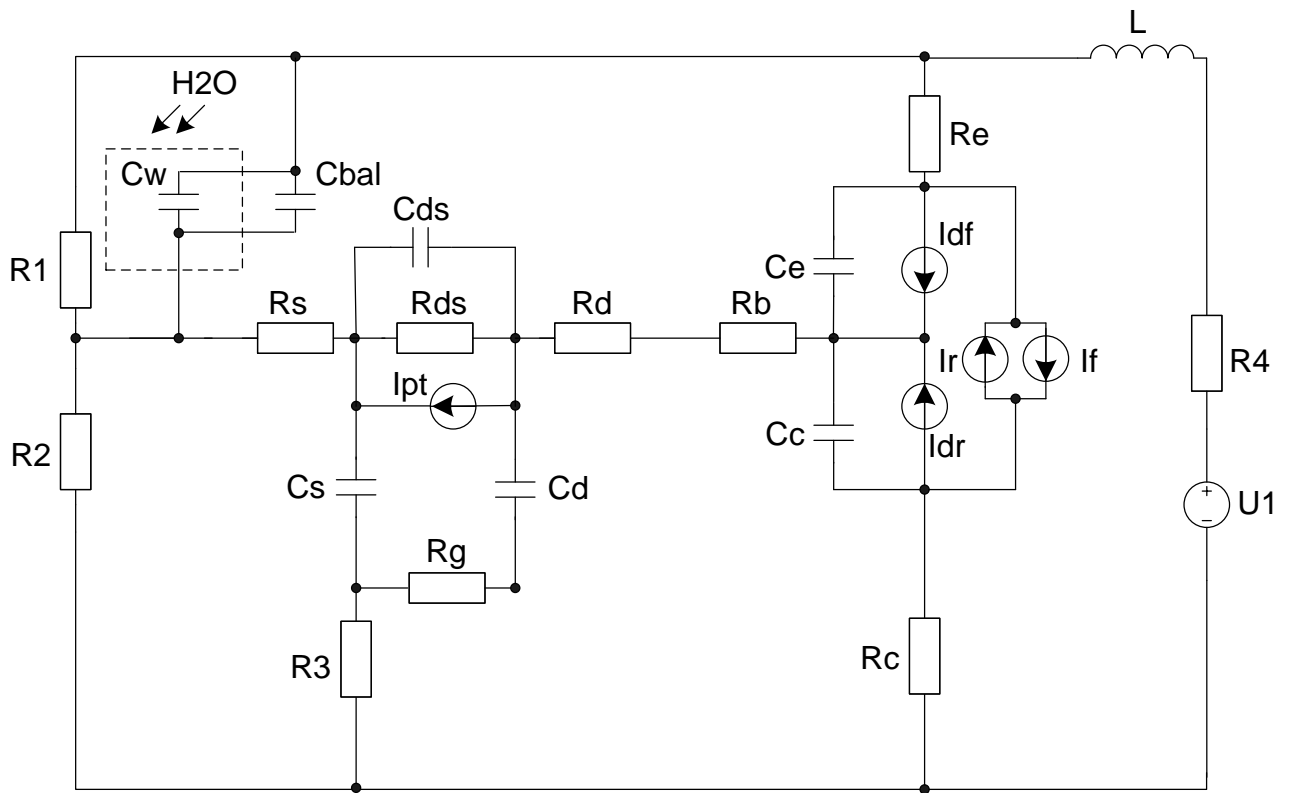
Схема електрична принципова



Додаток Д
(обов'язковий)

**РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ВОЛОГОСТІ
НАФТОПРОДУКТІВ**

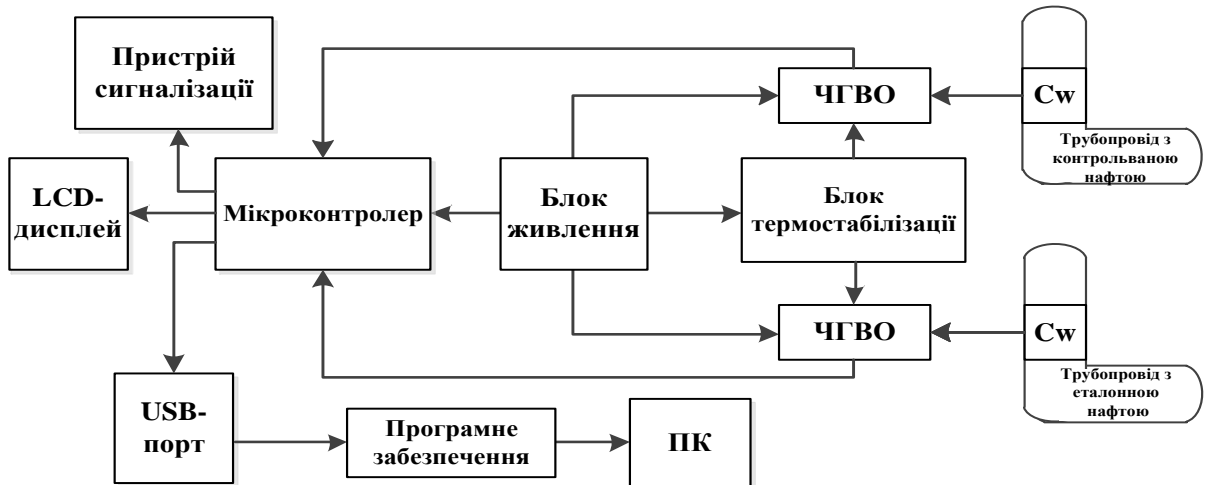
Схема еквівалентна електрична



Додаток Е
(обов'язковий)

**РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ВОЛОГОСТІ
НАФТОПРОДУКТІВ**

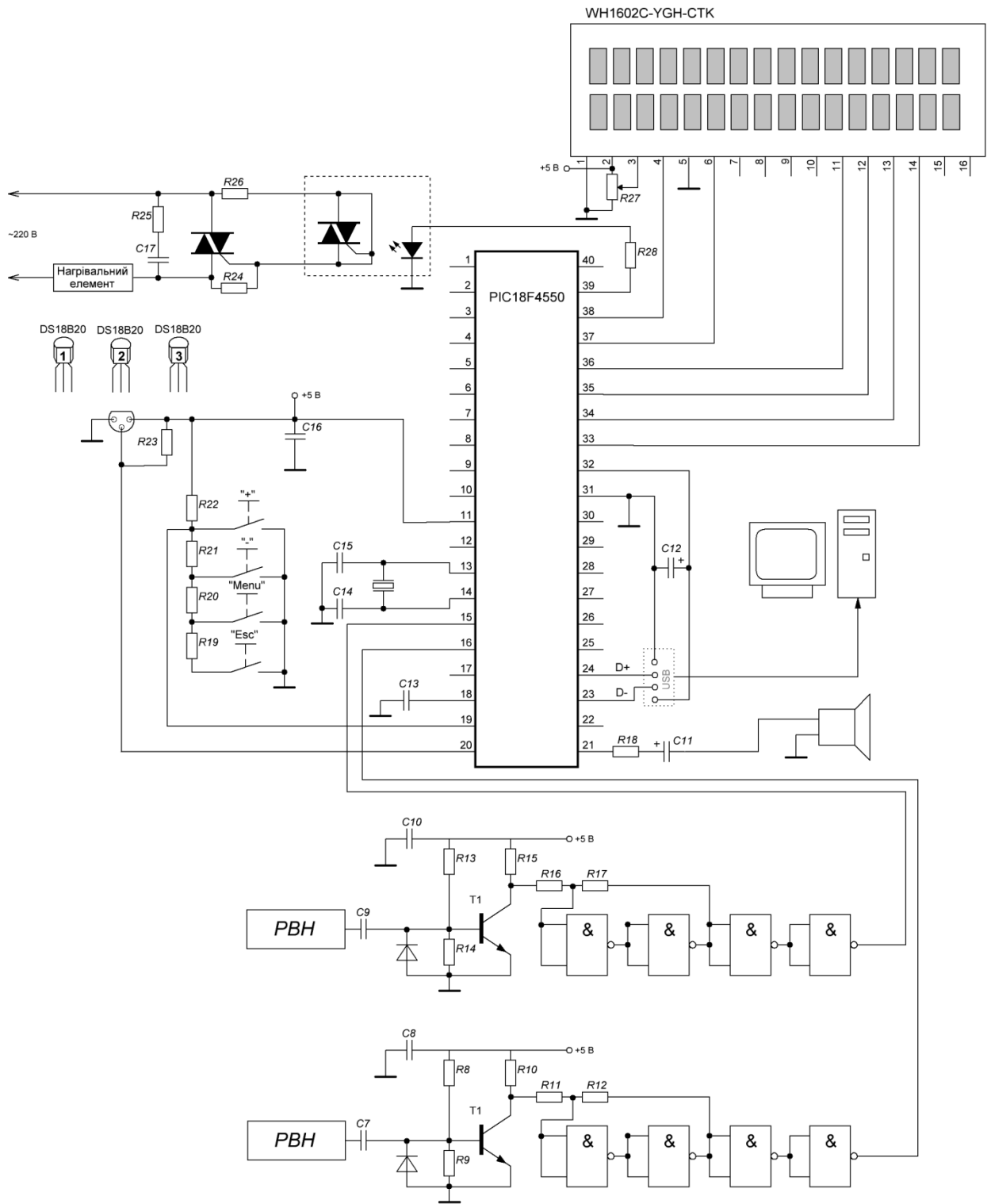
Структурна схема системи для вимірювання вологості нафтопродуктів



Додаток Ж
(обов'язковий)

**РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ВОЛОГОСТІ
НАФТОПРОДУКТІВ**

Схема електрична принципова



Додаток К
(обов'язковий)

**РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ВОЛОГОСТІ
НАФТОПРОДУКТІВ**

Класифікація приладів для вимірювання
вологості нафтопродуктів

