

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет Інформаційних електронних систем
(повне найменування інституту, назва факультету(відділення))
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до бакалаврської дипломної роботи на тему:

«РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВИЙ БАГАТОЗОННИЙ ТЕРМОМЕТР»

Виконав: студент 2(4)-го курсу, групи ТКР-22мс
спеціальності 172 - Телекомунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

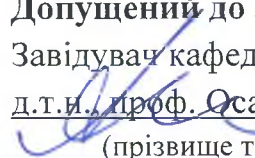
 Попенко А.А.
(прізвище та ініціали)

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

«12» 06 2024 р.

Рецензент: к.т.н., доц., доцент кафедри ІКСТ
 Семенова О.О.
(прізвище та ініціали)

«12» 06 2024 р.

Допущений до захисту
Завідувач кафедри ІРТС
д.т.н., проф. Осадчук О.В.
 (прізвище та ініціали)
«13» 08 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Інформаційних електронних систем
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань - 17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність - 172 - Телекомунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма - Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф., Осадчук О.В.

15 березня 2024 року

**ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Попенку Андрію Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Радіовимірювальний ультразвуковий багатозонний термометр»
керівник роботи Савицький Антон Юрійович, к.т.н., доц., доц. каф. ІРТС
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від "11"03 2024 року №80
2. Строк подання студентом роботи 10 06 2024 року
3. Вихідні дані до роботи: межі вимірювання температури 20...1500°C
діапазон, похибка вимірювання 4%; середнє значення змінної напруги 220В,
гранично допустиме відхилення напруги - 10%, середнє значення частоти - 50
Гц, тип інтерфейсу - LPT; напруга живлення елементів - 5В.
4. Зміст текстової частини: Вступ. Основні відомості про ультразвукові
вимірювачі температури. Розробка радіовимірювального ультразвукового
багатозонного термометра. Електричні розрахунки каскадів пристрою.
Комп'ютерне схемотехнічне моделювання блоків пристрою. Охорона праці.
Висновки. Список використаних джерел. Додатки.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Будова радіовимірювального ультразвукового багатозонного
термометра. Структурна схема радіовимірювального ультразвукового
багатозонного термометра. Схема електрична принципова. Схема
ізолюваного інтерфейса RS-232. Результати моделювання блоку
терморегулятора.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	к.т.н. доцент Савицький А.Ю.		
Охорона праці	професор кафедри БЖДПБ, професор, д.п.н. Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 17.03.2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми БДР	14.02.2024-28.02.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2024-10.03.2024	
3.	Затвердження теми. Розробка завдання на БДР.	11.03.2024-31.03.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	01.04.2024-06.05.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	07.05.2024-18.05.2024	
6.	Розробка графічної частини БДР	19.05.2024-22.05.2024	
7.	Охорона праці (ОП)	23.05.2024-28.05.2024	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	29.05.2024-05.06.2024	
9.	Нормоконтроль	06.06.2024-07.06.2024	
10.	Попередній захист БДР, доопрацювання, рецензування БДР	08.06.2024-10.06.2024	
11.	Захист БДР ЕК	11.06.2024-17.06.2024	

Студент

(підпис)

Попенко А.А.

Керівник роботи

(підпис)

Савицький А.Ю.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.396

Попенко А.А. Радіовимірювальний ультразвуковий багатозонний термометр. Бакалаврська дипломна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 71 ст.

Українською мовою. Бібліогр.: 28 назв; Рис.: 20. Табл. 5.

Дана бакалаврська робота присвячена розробці радіовимірювального ультразвукового багатозонного термометра за допомогою існуючих методів вимірювання температури.

В першому розділі розглянуті основні фізичні принципи ультразвукового вимірювання температури, конструкції первинних сенсорів і варіанти схемної реалізації, які показують актуальність, функціональних можливостей і користь приладу.

В другому розділі розглянута розробка ультразвукового термометра, в якій створено структуру та принципову схему.

В третьому розділі проведені електричні розрахунки та розроблено схеми каскадів ультразвукового багатозонного термометра. Було обрано сучасну елементну базу.

В четвертому розділі проведено комп'ютерне моделювання, яке показало наочний приклад принципу дії блоку терморегулятора.

В п'ятому розділі розглянуті умови безпеки життєдіяльності та виконані необхідні розрахунки.

На основі даних розділів зроблено висновок про доцільність використання ультразвукових вимірювань.

Ключові слова: багатозонний термометр, терморегулятор, операційний підсилювач, мікроконтролер.

ABSTRACT

Popenko A.A. Radio-measuring ultrasonic multi-zone thermometer. Bachelor thesis. – Vinnytsia: VNTU, 2024. – 71 p.

In Ukrainian language. Bibliography: 28 titles; Fig.: 20. Table. 5.

This bachelor's thesis is devoted to the development of a radio-measuring ultrasonic multi-zone thermometer using existing methods of temperature measurement.

In the first chapter, the basic physical principles of ultrasonic temperature measurement, the construction of primary sensors and variants of schematic implementation are considered, which show the relevance, functionality and usefulness of the device. In the electrical calculations, the circuits of the cascades of the ultrasonic multi-zone thermometer were calculated and developed. A modern element base was selected.

In the second chapter deals with the development of the ultrasonic thermometer, in which the structure and schematic diagram are created.

In the third chapter, electrical calculations were carried out and schemes of cascades of the ultrasonic multi-zone thermometer were developed. A modern element base was chosen.

In the fourth chapter, a computer simulation was carried out, which showed a visual example of the principle of operation of the thermostat unit.

In the fifth chapter, the conditions of life safety are considered and the necessary calculations are performed.

On the basis of these sections, a conclusion was made about the expediency of using ultrasonic measurements.

Keywords: multi-zone thermometer, temperature controller, operational amplifier, microcontroller.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО УЛЬТРАЗВУКОВІ ВИМІРЮВАЧІ ТЕМПЕРАТУРИ.....	11
1.1 Основні переваги ультразвукових методів вимірювання температури.....	11
1.2 Обґрунтування вибору принципу дії пристрою.....	17
2 РОЗРОБКА РАДІОВИМІРЮВАЛЬНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО БАГАТОЗОННОГО ТЕРМОМЕТРА.....	20
2.1 Вибір можливих схемних рішень.....	20
2.2 Розробка структурної схеми.....	22
2.3 Розробка принципової схеми аналогової частини.....	24
3 ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ КАСКАДІВ ПРИСТРОЮ.....	35
3.1 Розрахунок схеми вхідного каскаду приймача.....	35
3.2 Розробка принципової схеми передавача.....	38
3.3 Розробка принципової схеми вхідного каскаду приймача.....	39
3.4 Розробка принципової схеми початкового шукання сигналів та формування імпульсів.....	40
3.5 Розробка принципової схеми цифрової частини.....	41
4 КОМП'ЮТЕРНЕ СХЕМОТЕХНІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БЛОКІВ ПРИСТРОЮ.....	45
4.1 Моделювання блоку терморегулятора	45
4.2 Моделювання частотних характеристик блоку терморегулятора.....	48
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	51
5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	51
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	54
5.3 Пожежна безпека.....	58
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62
Додаток А (обов'язковий). Ілюстративний матеріал.....	64
Додаток Б (обов'язковий). Протокол перевірки навчальної (бакалаврської) дипломної роботи.....	70

ВСТУП

Актуальність теми. Загальна теорія та методи вимірювання температури та аналізу джерел похибок методу значно розвинулися за останні роки. Однак, незважаючи на різноманітність приладів для вимірювання температури і накопичений багатий досвід експлуатації, підвищення вимог до метрологічних властивостей в нових умовах застосування спонукало нас переглянути принципи побудови термометрів. Це пояснюється такими причинами, як складність роботи нового обладнання, необхідність суворішого контролю температури процесу та підвищені вимоги безпеки.

Наприклад, ультразвукова термометрія, яка базується на використанні температурної залежності та параметрів поширення акустичного сигналу. Температурна технологія поєднує різні методи вимірювання температури, методи та засоби вимірювання, пристрої та обладнання, які реалізують ці системи контролю температури.

В ХХІ столітті серед промислового виробництва, наукових дослідів, дослідження матеріалів і зразків найбільш розповсюдженими є виміри температури. Широкий спектр вимірювальних температур та різні умови користування засобів та вимог визначаються необхідністю розробки різних типів перетворювачів та різними способами використання температури.

Огляд сучасного стану. Вимірювання температури є ключовим моментом у різних сферах діяльності. В промисловості для запобігання перегріву обладнання, в медицині щоб знати хвора людина чи здорова, в метеорології для прогнозу погоди і тд. Точність та швидкість вимірювання температури мають важливе значення для управління важливими процесами. Постійно ведуться пошуки нових та вдосконалених термометрів для поліпшення якості та простоти використання вимірювань.

Технологія ультразвукового вимірювання температури є перспективною тенденцією в розвитку вимірювання. Даною технологією вимірюється температура різних ділянок об'єкта без контакту з ним та без

похибок у вимірюваннях. Із недоліків ультразвукових вимірювань є вузький діапазон вимірювання та недостатня чутливість до змін температури.

Ультразвукові методи вимірювань займають провідне місце серед методів вимірювання та контролю в метрології. Це пов'язано із загальним розвитком акустики як науки, фізики твердого тіла та мікроелектроніки. Перші експериментальні зразки ультразвукових термометрів, що вже проходять випробування, виявляють багато переваг над традиційними інструментами вимірювання температури. Потенціал використання ультразвукових термометрів був чітко продемонстрований під час випробувань та експлуатації на атомних електростанціях. В ході дослідження ультразвукові імпульсні термометри, що використовувалися в умовах опромінення реактора при температурі 2000°C протягом 2000 годин, показали значно меншу зміну номінальних статичних характеристик в порівнянні з термопарами типу ВР(А), в той час як для даних термометрів цей показник досягав всього 1,5%. Для термопари типу ВР(А) цей показник досягає 30%. Це підкреслює одну з головних переваг ультразвукових термометрів: використання традиційних методів вимірювання для вимірювання температури об'єктів з обмеженим доступом або без можливості доступу до них.

Варто звернути увагу, що для керування технічними процесами в енергетиці та на промислових об'єктах недостатньо знати температуру об'єкта в окремій точці, необхідна інформація про розподіл температури всередині нього. Проблема розробки та застосування ультразвукових термометрів також пов'язана з питаннями енергозбереження та ресурсозбереження і пошуком альтернатив термопарам на основі металів платинової групи. Ультразвукові багатозонні імпульсні термометри працюють переважно в режимі відбиття, вимірюючи інтервал часу між парою відбитих сигналів від початкової та кінцевої точок обраної зони вимірювання.

Мета і задачі дослідження

Метою роботи є розробка пристрою, який призначений для вимірювання температури методом ультразвукової термометрії з

використанням температурної залежності та параметрів поширення акустичного сигналу.

Об'єктом дослідження є мікропроцесорна система, яка одночасно вимірює температуру п'яти зон шляхом вимірювання часового інтервалу імпульсів, відбитих від відбиваючого елемента в п'ятизонному імпульсно-чутливому елементі ультразвукового датчика. З діапазоном вимірювання температури від 20 °С до 1500 °С розроблений продукт може бути використаний для вимірювання та контролю високих температур у промисловому секторі.

Предметом дослідження є частотні та часові параметри і характеристики радіовимірювального ультразвукового багатозонного термометра.

Для досягнення поставленої мети в бакалаврській дипломній роботі розв'язуються наступні задачі:

- Здійснити вибір компонентів для розробки електричної схеми.
- Створити принципову електричну схему.
- Провести розрахунок вимірювальних характеристик багатозонної мікропроцесорної системи вимірювання температури.
- Визначити величину похибки вимірювання.
- Розробити алгоритмічне та програмне забезпечення для багатозонної мікропроцесорної системи вимірювання температури.
- Провести моделювання роботи пристрою на комп'ютері.

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати бакалаврської дипломної роботи отримані автором практично самостійно.

Структура і обсяг роботи. Бакалаврська дипломна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел.

1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО УЛЬТРАЗВУКОВІ ВИМІРЮВАЧІ ТЕМПЕРАТУРИ

1.1 Основні переваги ультразвукових методів вимірювання температури

За допомогою ультразвукового датчика генеруються ультразвукові хвилі, які проникають всередину об'єкта і відбиваються від його внутрішньої структури. Ці хвилі проникають всередину об'єкта, відбиваючись від його внутрішньої структури і повертаючись до випромінювача.

Радіовимірювальний модуль приймає і обробляє радіосигнали, відбиті від об'єктів. Ці сигнали містять інформацію про властивості об'єкта, пов'язані з його температурою.

Для аналізу радіосигналів і визначення температури в різних зонах приміщень використовуються спеціальні алгоритми.

Технологія ультразвукового вимірювання температури має ряд перспектив для розвитку. Він дозволяє вимірювати температуру різних частин об'єкта без безпосереднього контакту з ним, забезпечуючи високу точність і надійність вимірювання.

Однак сучасні ультразвукові термометри мають деякі обмеження. Діапазон їх вимірювань зазвичай вузький, а чутливість до змін температури недостатня.

Щоб подолати ці обмеження, проводяться дослідження та розробка нових методів та технологій.

Основні переваги ультразвукових вимірювань:

1. Висока точність: ультразвукові методи вимірювання температури забезпечують високу точність до $\pm 0,01$ °C, що робить їх ідеальними для використання в наукових і промислових цілях, де потрібна точна і достовірна інформація про температуру. Наприклад, ультразвукові датчики температури можуть вимірювати температуру тканин і органів з високою точністю, що

дозволяє дослідникам краще розуміти фізіологічні процеси і розробляти нові методи лікування. У промисловості ультразвукові датчики температури використовуються для моніторингу таких процесів, як переробка нафти, хімічне виробництво та виробництво продуктів харчування. Висока точність ультразвукових датчиків температури дозволяє контролювати ці процеси з максимальною точністю, що призводить до підвищення якості продукції, зниження витрат та підвищення безпеки.

2. Швидкий відгук: ультразвукові датчики температури володіють швидким часом відгуку, що дозволяє їм швидко реагувати на зміни температури. Це робить їх корисними для вимірювання температури динамічних систем, таких як потоки рідини та газу. Ультразвукові датчики температури використовуються в системах моніторингу стану для виявлення ранніх ознак несправності обладнання, такого як підшипники та електродвигуни. Швидкий час спрацьовування ультразвукового датчика температури дозволяє виявляти проблеми до того, як вони призведуть до серйозних поломок, що дозволяє економити час і гроші на ремонті і простоях.

3. Безконтактність: Ультразвукові методи вимірювання температури не потребують контакту з об'єктом, температуру якого потрібно виміряти. Це робить його ідеальним для використання в ситуаціях, коли контакт з будь-яким предметом небажаний або неможливий, в першу чергу, при вимірюванні температури харчових продуктів або хімічних речовин. Ультразвукові датчики температури використовуються для вимірювання температури їжі під час обробки та упаковки. Безконтактний характер ультразвукового методу вимірювання температури гарантує, що харчові продукти не будуть забруднені або пошкоджені, що призведе до поліпшення якості та безпеки харчових продуктів.

4. Широкий діапазон вимірювань: ультразвуковий метод вимірювання температури застосовується в діапазоні від $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. може використовуватися для вимірювання температур в широкому діапазоні. Ультразвукові датчики температури використовуються в металургійній

промисловості для вимірювання температури розплавленого металу. Широкий діапазон вимірювання ультразвукових датчиків температури дозволяє використовувати їх в різних металургійних процесах, таких як плавка, лиття і кування.

5. Стійкість до впливу агресивних середовищ: ультразвукові датчики температури стійкі до впливу агресивних умов навколишнього середовища, таких як високі і низькі температури, вібрація і хімічні речовини. Це робить їх придатними для використання в промисловості, де інші методи вимірювання температури можуть виявитися неефективними. Наприклад, ультразвукові датчики температури використовуються в нафтогазовій промисловості для вимірювання температури нафти і газу. Стійкість ультразвукових датчиків температури до несприятливих умов навколишнього середовища робить їх ідеальними для використання в суворих умовах на нафтових і газових родовищах.

З економічної точки зору, використання радіовимірювальних ультразвукових багатозонних термометрів має наступні переваги:

1. Зниження витрат. Ультразвукові методи вимірювання температури забезпечують високий рівень точності і надійності, що може привести до значного скорочення кількості бракованих виробів. У виробництві напівпровідників ультразвукові датчики температури використовуються для контролю температури кремнієвих пластин під час різних технічних операцій. Це дозволяє значно знизити рівень браку і значно заощадити на сировині і відтворенні. Точне вимірювання температури за допомогою ультразвукового методу допомагає оптимізувати виробничий процес і збільшити продуктивність. На целюлозно-паперових заводах ультразвукові датчики температури використовуються для контролю температури маси в процесі обробки паперу. Це дозволяє оптимізувати процес сушіння паперу і збільшити продуктивність. Ультразвукові методи вимірювання температури можуть допомогти оптимізувати споживання енергії та призвести до значної економії коштів. На металургійних заводах ультразвукові датчики температури

використовуються для контролю температури розплавленого металу під час розливання. Це дозволяє оптимізувати процес розливання і знизити енерговитрати. Ультразвукові датчики температури, як правило, стійкі до суворих умов навколишнього середовища, що робить їх менш схильними до поломок. Це може призвести до зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт. На хімічних заводах ультразвукові датчики температури використовуються для контролю температури хімічних реакцій. Це може значно знизити витрати на технічне обслуговування та ремонт датчиків.

2. Покращення якості продукції. Точне вимірювання температури, що забезпечується ультразвуковим методом, допомагає гарантувати, що продукт відповідає всім необхідним вимогам до якості. Це може призвести до підвищення продуктивності продукту та задоволеності споживачів. У фармацевтичній промисловості ультразвукові датчики температури використовуються для контролю температури у виробництві ліків. Це гарантує, що лікарські препарати відповідають всім необхідним стандартам якості та безпеки. Зниження рівня дефектів, яке може бути досягнуто за допомогою ультразвукових методів вимірювання температури, і поліпшення характеристик продукту можуть значно знизити кількість скарг. Це може заощадити значні кошти та покращити репутацію компанії. У харчовій промисловості ультразвукові датчики температури використовуються для контролю температури харчових продуктів при зберіганні та транспортуванні. Це дозволяє значно знизити кількість псування продуктів і скарг споживачів.

3. Підвищення безпеки. Технологія ультразвукового вимірювання температури допомагає виявити потенційні небезпеки, пов'язані з температурними режимами, що допомагає запобігти нещасним випадкам. Це може врятувати життя, запобігти травмам та захистити майно. На атомних електростанціях ультразвукові датчики температури використовуються для контролю температури ядерних реакторів. Це дозволяє виявляти потенційні несправності і запобігати аварії з катастрофічними наслідками. Ультразвукові методи вимірювання температури можуть допомогти зменшити ризик

потрапляння забруднюючих речовин у навколишнє середовище. Цього можна досягти за рахунок оптимізації виробничого процесу і зниження енергоспоживання. Наприклад, на целюлозно-паперових заводах ультразвукові датчики температури використовуються для контролю температури маси в процесі обробки паперу. Також дані методи вимірювання температури можуть бути використані для відстеження та контролю температури продуктів по всьому ланцюжку поставок. У фармацевтичній промисловості ультразвукові датчики температури використовуються для контролю температури лікарських засобів при транспортуванні. Завдяки цьому лікарський засіб зберігається в належних умовах і не втрачає своїх властивостей.

4. Підвищення конкурентоспроможності. Економія коштів, яку можна досягти за допомогою ультразвукових методів вимірювання температури, може призвести до зниження виробничих витрат. Це може підвищити конкурентоспроможність компанії на ринку. Поліпшення продуктивності продукції, яке можна досягти за допомогою технології ультразвукового вимірювання температури, може зробити компанію більш привабливою для клієнтів. Це може призвести до збільшення продажів і частки ринку. Зниження ризику нещасних випадків і викидів забруднюючих речовин, а також підвищення якості продукції, яке може бути досягнуто за допомогою ультразвукових методів вимірювання температури, допоможе компанії поліпшити свою репутацію на ринку. Це може призвести до зростання довіри серед клієнтів та партнерів. Тому дана робота присвячена розробці радіовимірювального ультразвукового багатозонного термометра, який поєднує в собі найкращі якості ультразвукового вимірювання. Даний розроблений пристрій спрямований підвищити ефективність вимірювання температури за рахунок підвищення точності, швидкості та універсальності вимірювання температури в різних сферах використання. Його широкий діапазон та висока чутливість вимірювання температури відіграє важливу роль для багатьох зайнятостей таких як промисловість, медицина та наука.

У дослідженні буде виявлено аналіз відомих методів вимірювання температури, розробку компонентів радіовимірювального ультразвукового багатозонного термометра, проведення експериментів та висновки по отриманим результатам. Результати, отримані в ході дослідження будуть основою для удосконалення методів вимірювання та розробкою нових радіовимірювальних пристроїв.

Мета полягає в розробці та дослідженні радіочастотних ультразвукових термометрів, вирізняються кращою точністю, швидкістю та універсальністю вимірювань. Такі термометри знайдуть застосування в різних сферах науки, техніки та промисловості.

Об'єктом дослідження є радіовимірювальний ультразвуковий багатозонний термометр, який використовує ультразвукову технологію для радіовимірювань. За основу дослідження приладу є розробка, покращення компонентів даного пристрою, експериментальні дослідження та визначення ефективності вимірювань. Метою дослідження також є створення математичної моделі

Об'єктом дослідження також є створення математичної моделі бездротового вимірювального ультразвукового багатозонного термометра, яка враховує взаємозв'язок між вимірюваною температурою і бездротовим вимірювальним сигналом. Дослідження об'єкта спрямоване на підвищення точності, чутливості та універсальності вимірювань температури за допомогою бездротових вимірювальних ультразвукових багатозонних термометрів.

1.2 Обґрунтування вибору принципу дії пристрою

При виборі схеми необхідно враховувати наступні фактори:

1. Працездатність. Схема повинна задовольняти всі вимоги до виконання роботи, такі як: точність вимірювання, ширину робочого діапазону,

частотні характеристики та інші параметри, які визначають функціональність пристрою.

2. Наявні обмеження. Вибір схеми повинен брати до уваги обмеження, які можуть бути у пристрої. Наприклад, живлення, розміри, способи підключення тощо. Тобто, якщо розроблений пристрій має бути портативним, то до нього обирається енергоефективна та компактна схема.

3. Надійність та доступність. Вибір схеми повинен враховувати, що компоненти мають бути доступними та надійними. Обов'язково потрібно враховувати надійність виробників та доступність їх продукції на ринку для забезпечення стабільності поставок.

4. Можливості модернізації та удосконалення. Схема повинна мати свій потенціал для удосконалення, модернізації та розширеності. Схема обирається з урахування легкої модифікації та оновлення, яке збільшує тривалість його експлуатації.

5. Вартість пристрою. Обрана схема має мати обґрунтовану вартість виготовлення. Кожен компонент, схеми, робоча сила та інші складові впливають на кінцеву вартість пристрою.

Існує чіткий зв'язок між температурою повітря (T), часом проходження ультразвукового сигналу (t) та відстанню (L), яку він долає. Цей зв'язок описується формулою:

$$T = \left(\frac{L}{t}\right)^2 \div \left(\frac{j \cdot R}{M}\right) - 273,15 ,$$

де j — показник адіабати повітря дорівнює $7/5$; R — універсальна газова постійна, для повітря $R = 8,3144598$ Дж/(моль К); M — молярна маса, для повітря без урахування вологості $M = 0,029$ кг/моль.

Ультразвуковий термометр використовує два параметри для визначення температури: відстань, яку проходить ультразвуковий сигнал (L), та час, витрачений на це (t). Чим вище температура, тим швидше в ній

поширюються ультразвукові хвилі, відповідно, і тим коротше час проходження сигналу. Цей принцип роботи показаний на рисунку 1.1.

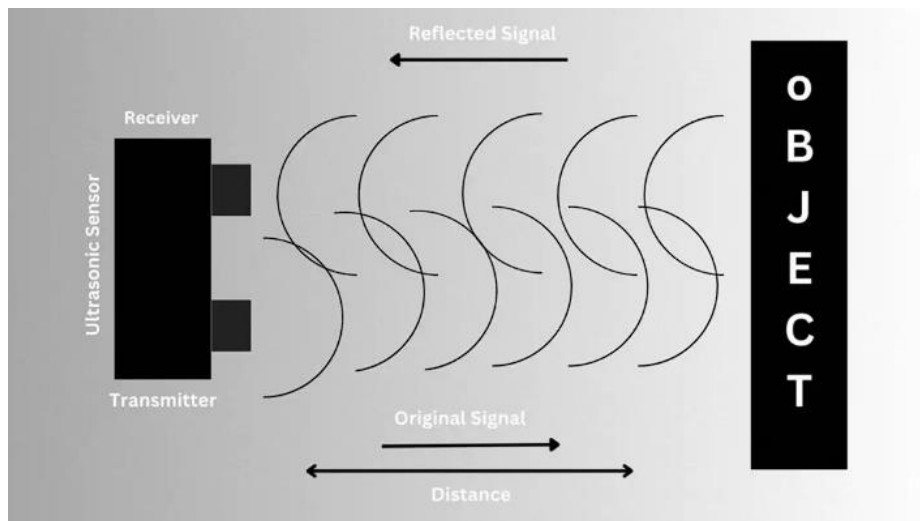


Рисунок 1.1 - принцип роботи ультразвукового термометра

Технічні вимоги до ультразвукового термометра:

- Діапазон вимірювання температури повітря у приміщенні від -20°C до $+40^{\circ}\text{C}$ при вологості 30-65% та атмосферному тискові 684-809 мм рт. ст;
- Точність вимірювання $\pm 1^{\circ}\text{C}$;
- Час реагування на зміну температури – не більше 500 мс;
- Можливість інтегрування до інформаційних мереж;

Схема простого ультразвукового термометра складається з ультразвукового датчика HC-SR04 і Arduino UNO зображена на рисунку 1.2



Рисунок 1.2 - Ультразвуковой датчик HC-SR04

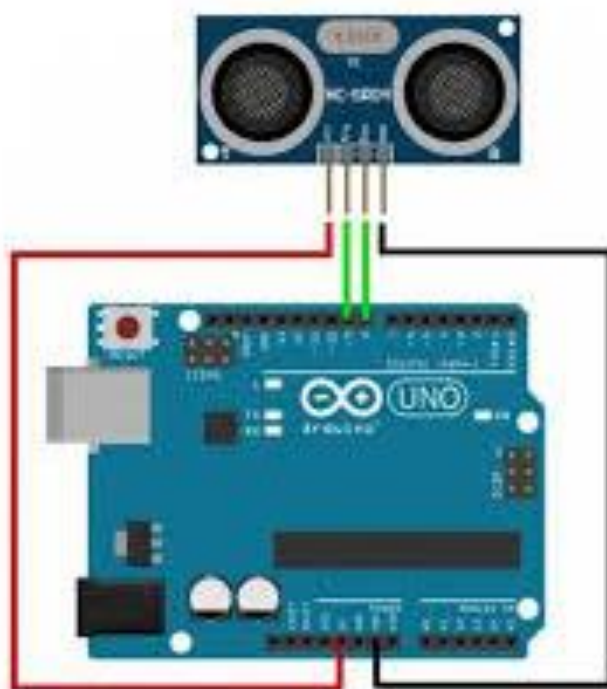


Рисунок 1.3 - Структурна схема простого ультразвукового термометра

2 РОЗРОБКА РАДІОВИМІРЮВАЛЬНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО БАГАТОЗОННОГО ТЕРМОМЕТРА

2.1 Вибір можливих схемних рішень

Термометри, побудовані на дискретних елементах, є класичним прикладом електронної схеми, що використовується для вимірювання температури. Їх простота і доступність роблять їх популярними не тільки там, де потрібна гнучкість і змінність, але і серед новачків в електроніці.

Однак важливо відзначити, що термометри на дискретних елементах мають певні недоліки, такі як низька точність, низька стійкість до перешкод і відносно великі габарити.

Одна з найпростіших схем термометра на дискретних елементах зображена на рисунку 2.1.

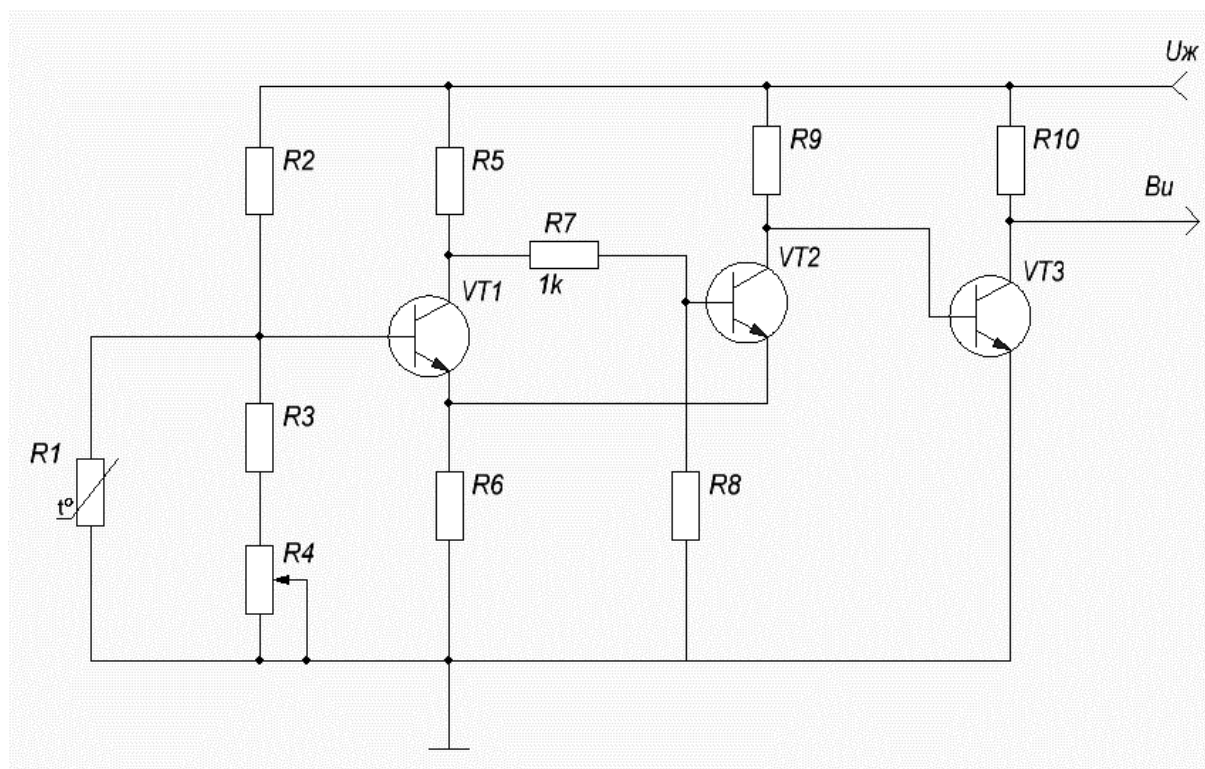


Рисунок 2.1 – Схема електрична принципова терморегулятора на транзисторах

Терморегулятор використовує пороговий пристрій на транзисторі для регулювання роботи іншого пристрою в залежності від температури навколишнього середовища. Пороговий пристрій складається з транзисторів VT1 і VT2, які утворюють схему порівняння напруг. Датчиком температури є терморезистор R1, опір якого змінюється в залежності від температури. Резистор R4 визначає поріг спрацьовування порогового пристрою. Транзистори VT3 використовуються в якості ключових елементів для керування.

Недоліком такої схеми є її невисока точність, оскільки кожен активний елемент має свої відхилення і похибки. Продуктивність схеми сильно залежить від навколишнього середовища.

Вище згадані недоліки компенсуються при побудові терморегуляторів на основі операційних підсилювачів. Типова схема на ОП зображена на рисунку 2.2.

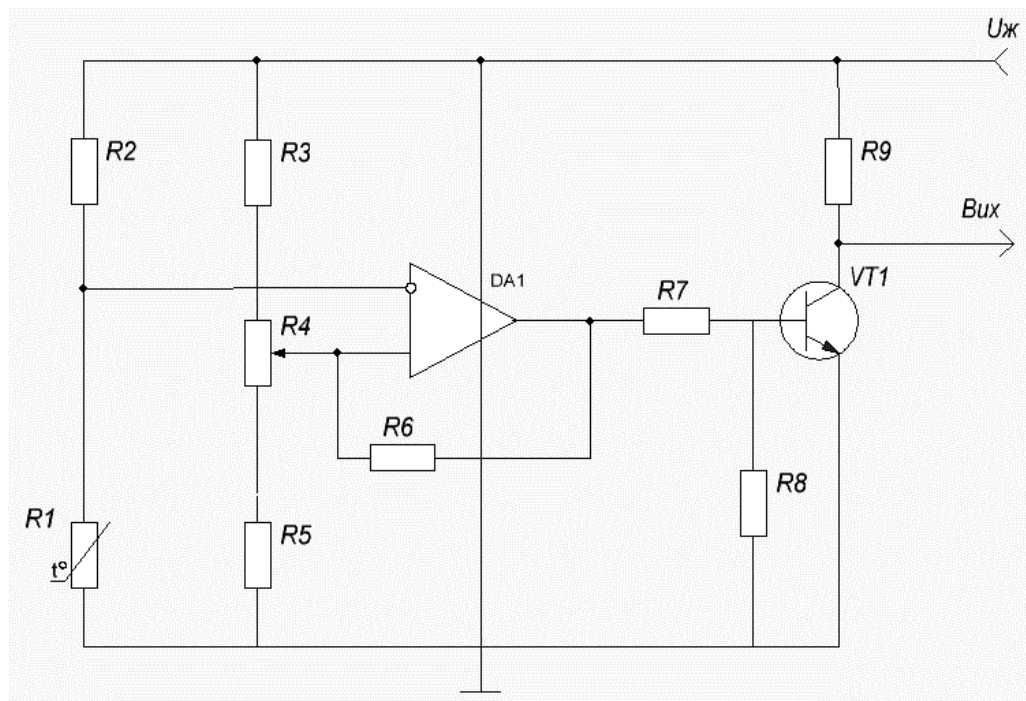


Рисунок 2.2 – Схема термометра на ОП

В даній схемі терморегулятора використовується операційний підсилювач DA1, який діє як компаратор [2].

Компаратор порівнює змінну напругу терморезистора R1, яка залежить від температури і фіксовану напругу змінного резистора R4. Сигнал від компаратора підсилюється і передається на блок управління. Дана схема забезпечує високу точність регулювання температури, стійкість до зовнішніх впливів і компактність завдяки використанню вбудованих компонентів.

Для використання терморезистора в цифровій схемі потрібні додаткові компоненти, такі як вимірювальний міст (для перетворення опору в напругу), АЦП (для перетворення аналогового сигналу в цифровий) і обчислювальний блок (для розрахунку температури). Також потрібне обчислення значення температури на підставі коду, зчитаного з АЦП, також деякі корекції та калібрування одержаного вимірювального вузла. В даний час компанією Dallas/Maxim випускається великий асортимент цифрових датчиків температури[8].

Датчики готові до використання одразу з коробки. Вони мають калібрування з заводу та вбудований АЦП, тому їм не потрібні додаткові компоненти або налаштування. Тому немає необхідності встановлювати в кінцевій схемі якісь регульовальні вузли та займатися калібруванням. Датчики можуть показувати температуру в градусах Цельсія або кодом, який легко перетворити на градуси за допомогою формули, що надається виробником. Широкий діапазон вимірювань ($-55...+125^{\circ}\text{C}$) та висока точність (до чотирьох знаків після коми) роблять ці датчики ідеальними для широкого спектру застосувань. Інтерфейс 1-Wire дозволяє підключати багато датчиків до однієї лінії даних, що економить час та ресурси.

Для виведення інформації на дисплей необхідно використовувати або більш дешевий варіант на семисегментному світлодіодному індикаторі який потребує обв'язки у вигляді електронних ключів і реалізації динамічної індикації, або використати дорогі РК дисплеї[7].

Основним недоліком даної схеми на мікроконтролерах є велике енергоспоживання і необхідність постійного оновлення (динамічної індикації). Це означає не дуже високу автономність.

Виходячи з вище наведених даних, а також мети роботи приходимо до висновку, що найдоцільніше буде будувати нову розробку на основі мікропроцесора. Така схема буде достатньо надійною, мати потрібну точність і буде дешевою, що є основною умовою даної розробки.

Потрібний результат досягається використанням недорогих але надійних деталей, в тому числі і МК, що має мале енергоспоживання.

2.2 Розробка структурної схеми

Розглянемо принцип побудови структурної схеми ультразвукового термометра для вимірювання температури в п'яти зонах за одноканальною схемою. Варіант схеми такого термометра зображений на рисунку 2.3.

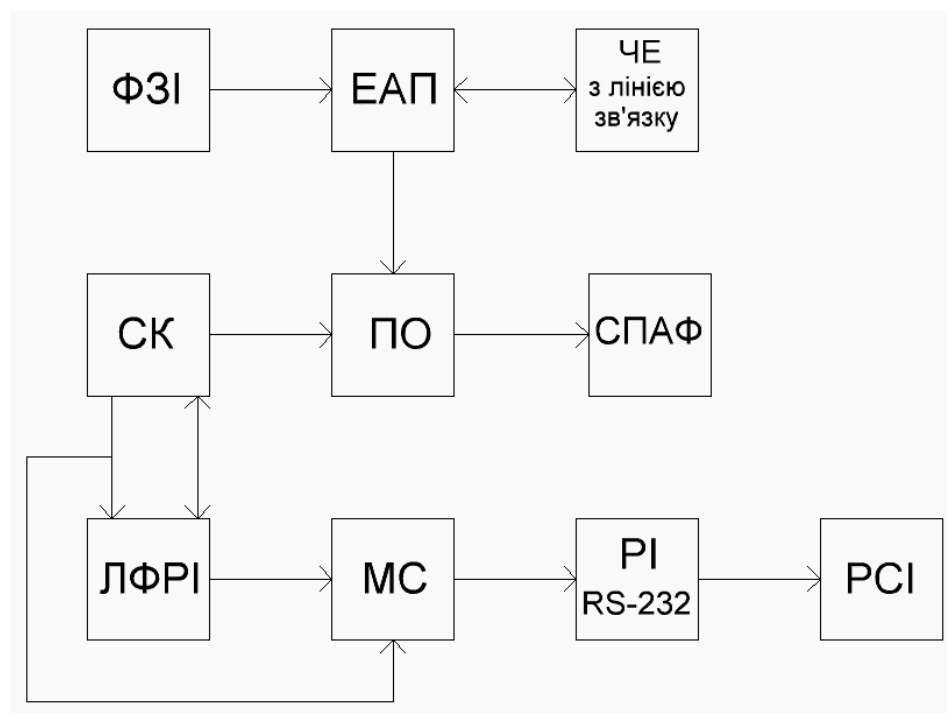


Рисунок 2.3 - Структурна схема пристрою для багатозонного вимірювання температури

Вона містить ЧЕ - чутливий елемент , який акустичною лінією зв'язку з'єднаний з ЕАП - електроакустичним перетворювачем, ФЗІ - формувач зондувальних імпульсів, ПО - підсилювач-обмежувач, СК - схема початкового аналізу та фіксації, СК - схема керування, ЛФРІ - ланка формування робочих імпульсів, МС - мікроконтролер, РІ - послідовний інтерфейс RS-232, РСІ - персональний комп'ютер[1].

ЕАП забезпечує випромінювання ультразвукових імпульсів та приймання відбитих сигналів, що відбилися від елементу відбивання ЕВ. Дані відбиті сигнали подаються схему, що виділяє робочі сигнали та відокремлює завади та паразитні сигнали. Тут і стає потрібною схема початкового аналізу та фіксації СК, яка здійснює початкове шукання корисні відбиті сигнали коли працює прилад від мережі. Наступним кроком є забезпечення послідовного вимірювання часових інтегралів серед обраних відбитих сигналів, аналіз цифрової інформації(пошук середнього значення отриманих результатів для усунення завад промахів тощо) та виведення її на індикатор.

Розглянемо вимоги до окремих функціональних вузлів термометра. ЧЕ забезпечує відбивання шести відбитих сигналів від відповідних ЕВ з мінімумом повторних відбивань, які несуть потрібний сигнал.

Акустичний звукопровід гарантує трансляцію зондувального та відбитого сигналів з малими втратами та спотвореннями, відсутність або мінімальну інтенсивність сигналів, відбитих від місць кріплення, добру узгодженість з ЕАП.

ЕАП забезпечує перетворення електричних імпульсів в акустичні та навпаки в заданій смузі частот. Схема початкового аналізу та фіксації потрібна, тому що вимірювальна частина термометра коли вмикається в мережу розпізнає, шукає і запам'ятовує розташування корисних відбитих сигналів. Повна схема електрична принципова наведена у графічній частині.

Схема виділення інформативних робочих-імпульсів найбільш відповідальна ділянка, яка забезпечує успішне функціонування приладу; повинна з високою точністю відстежувати розташування луна-імпульсів на осі часу, формувати з них імпульси для системи вимірювання часових інтервалів.

Мікроконтролер забезпечує вимірювання відразу декількох інтервалів між вибраними відбитими сигналами, одержує та опрацьовує інформацію (операції вибору середнього значення результатів вимірювання для зменшення випадкової складової похибки, операції відкидання хибних результатів, перетворення значень часових інтервалів у значення температури).

Персональний комп'ютер керує роботою системи і виконує наступну послідовність дій:

- 1) відповідно до команди користувача визначає базову адресу PI і виконує його налагодження (задається швидкість роботи порту, формат даних, що передаються і т. ін.);
- 2) після того, як оператором задаються параметри керування, комп'ютер формує відповідний сигнал і передає його на мікроконтролер;
- 3) на цьому робочий цикл закінчується і комп'ютер формує запит користувачу про припинення роботи;
- 4) при підтвердженні запиту комп'ютер закриває програму, якщо запит не підтверджується то програма розпочинає наступний цикл роботи.

2.3 Розробка принципової схеми аналогової частини

Задля нормальної роботи ультразвукового термометра необхідно створювати в середовищі ультразвукові коливання та фіксувати їх. Для цього використовують електроакустичні перетворювачі ЕАП, в яких на першому етапі відбувається проміжне електромеханічне перетворення електроенергії в коливання деякої механічної системи (стержня, пластини, камертона, тощо).

Далі механічно-акустичне перетворення механічних коливань в звук. Найпоширенішими є магнітострикційні та п'єзоелектричні перетворювачі.

Магнітострикційні перетворювачі, які ґрунтуються на магнітострикційному (у передавачах) і магнітопружному (у приймачах) ефектові, застосовують зазвичай для перетворення електричних імпульсів в звук до частоти 200 кГц. Найчастіше осердя магнітострикційного перетворювача виготовляють з нікелю та його стопів, залізокобальтових та залізоалюмінієвих стопів, феритів зі структурою шпінелі та граната. Приймальні магнітострикційні перетворювачі доцільно виконувати на основі бінарних сполук нітрогену та кобальту, а передавальні потрійного стопу, що складається з нітрогену(96,3%), хрому(2,3%) та кобальту(1,4%). Із чистих металів найбільше використовують нікель[2].

Щоб зменшити втрати на вихрові, струми осердя перетворювачів набирають із тонких пластин або навивають з тонкої стрічки. Вихідний матеріал попередньо покривається ізолюючою плівкою. При використанні чистого нікелю такою плівкою може бути оксид нікелю, який утворюється на поверхні при відповідній термообробці. Для підтримки хороших магнітострикційних властивостей нікелеві пластини спочатку відпалюють у водні при температурі 1000°C або у вакуумі, а потім окислюють на повітрі, нагріваючи до 700°C протягом 30 хвилин, а пластини для пермендіюру окислюють на повітрі, поміщаючи їх в піч, нагріту до 300°C, і потім температура піднімається до 450°C і витримується протягом 2,5 годин. Потім його охолоджують до 300°C зі швидкістю 60-80°C/год.

Матеріали, які використовують у магнітострикційному перетворювачі характеризуються коефіцієнтом магніто механічного зв'язку, магнітострикційною сталою a , і сталою чутливості A . Ефективність перетворення, поряд з K , визначається також магнітними та механічними втратами, які характеризуються відповідно відповідно тангенсом магнітних втрат $\tan \delta$ і механічною добротністю Q .

Для покращення роботи перетворювача застосовують підмагнічування за допомогою обмотки підмагнічування або постійного магніту. В цьому випадку вихідний сигнал перетворювача стає лінійною функцією вхідного, амплітуда вихідного сигналу стає максимальною та втрачається ефект подвоєння частоти. Практично підмагнічування доцільно виконувати вклеюванням магнітів з великою коерцитивною силою в магнітопровід або пропусканням постійного струму по основній (з розділенням кіл постійного та змінного струмів ІС-ланками) або допоміжній обмотці. У більшості випадків магнітострикційні перетворювачі використовують у режимі резонансних коливань осердя стрижневої або кільцевої форм. Оптимальні параметри у випадку поширеного стрижневого осердя можуть бути забезпечені такими вимогами :

а) довжина котушки збудження становить $0,7 - 0,75$ довжини осердя, а її середина розташована безпосередньо біля вузлової точки;

б) постійний магніт забезпечує магнітне поле, силові лінії якого є паралельними до осі осердя, воно максимально рівномірне по перерізу і має індукцію $B=0,7B_n$ (де B_n - індукція насичення);

в) витки котушки збудження розташовані як найближче до осердя.

З'єднання металевих перетворювачів здійснюється припоями ПСр40, ПСр45 та їхніми аналогами, а до перетворювачів з феритовими осердями приклеюванням.

Для попереднього розрахунку параметрів ЕАП потрібно використовувати еквівалентні схеми для спрощення аналізу. Один із варіантів простої схеми заміщення магнітострикційного перетворювача показано на рисунку 2.4.

Тут допускається, що параметри не змінюються вздовж осі перетворювача, не враховано електричний опір котушки збудження та індуктивність розсіяння магнітного потоку. Розраховувати параметри ЕАП краще виконувати за допомогою попереднього етапу вибору елементів, а кінцевий розрахунок - за допомогою експериментів.

Особливістю ультразвукових датчиків, зокрема високотемпературних, є те, що в багатьох випадках ЕАП потрібно розміщувати на певній відстані від ЧЕ (іноді до 20 м) або об'єкта вимірювання, якщо сам об'єкт чи його окремі фрагменти є ЧЕ. Акустичний сигнал у такому випадку передається за допомогою спеціального звукопроводу. Для передавання сигналу з мінімальними спотвореннями важливо звести до мінімуму вплив бокової поверхні звукопроводу, яка спричиняє дисперсію швидкості.

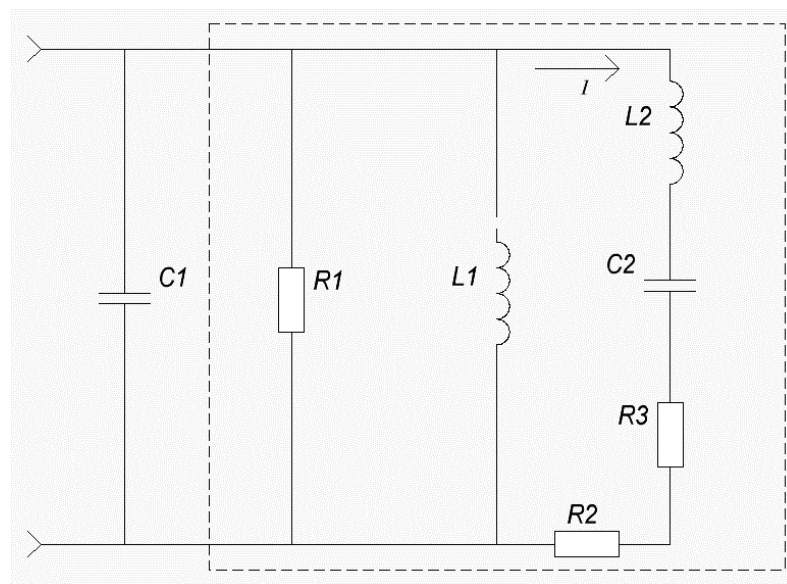


Рисунок 2.4 - Варіант простої еквівалентної схеми заміщення магнітострикційного ЕАП

В теорії цю умову можна виконати, якщо діаметр звукопроводу d у 20-50 разів перевищує довжину хвилі λ . На практиці реалізувати цю умову неможливо, оскільки потрібен габаритний звукопровід.

Тому використовують тонкі звукопроводи у вигляді стержнів або дротів при умові $\omega d/v$, то в стержнях звукопроводу поширюється хвиля одного типу: поздовжня, згинова або оберտальна.

Не менш важливими моментами у використанні звукопроводів є забезпечення високоякісного з'єднання з ЕАП і узгодження акустичних

імпедансів. У деяких випадках для цього використовують амплітудні трансформатори, узгоджувальні ланки тощо.

Конструкція ЕАП повинна відповідати вимогам механічної міцності і жорсткості, враховувати вплив експлуатаційних факторів і забезпечувати акустичну ізоляцію елементів, що передають і приймають сигнали від несучої конструкції. Це необхідно, щоб зменшити втрати корисних сигналів і уникнути появи помилкових сигналів, відбитих від точок опори. Ізоляція може бути досягнута використанням опор у вузловій площині хвилерізіної системи. Якщо робоча частота не змінюється, ізоляція може бути досягнута за допомогою чвертьхвильових ізоляторів і напівхвильових з'єднань; перевага такого монтажу кріпленням - можливість монтажу в будь-якому положенні системи. Однак повна ізоляція можлива тільки в режимі стоячих хвиль. Якщо цей режим порушений (наприклад, у випадку зміни частоти), то ізоляція втрачає свою ефективність. Якщо ж робоча частота не змінюється, то ізоляції можна досягнути використанням чверть хвильових ізоляторів і пів хвильових розв'язок, перевага яких порівняно з вузловим кріпленням виявляється в можливості кріплення до будь-якого місця коливної системи.

У виробництві багатозонних термометрів з поздовжніми хвилями використовується складений магнітострикційний перетворювач, який по чергово видає в звукопровід імпульси поздовжніх і крутильних коливань через електронний перемикач. Швидкості поширення цих коливань відрізняються більш ніж у 1,5 рази, що полегшує виділення різних відбитих імпульсів. Це також дає можливість подавати імпульси до обох котушок одночасно при використанні магнітострикційного перетворювача з окремими котушками збудження (для різних форм хвилі), оскільки різниця в швидкості призведе до різних відбитих імпульсів. У часі, якщо часова база між парами ехо-імпульсів однакова, ми використовуємо коротший ЧЕ для крутильних коливань (порівняно з ЧЕ для поздовжніх коливань).

Конструкція магнітострикційного перетворювача з кріпленням у місці з'єднання показана на рисунку 2.5.

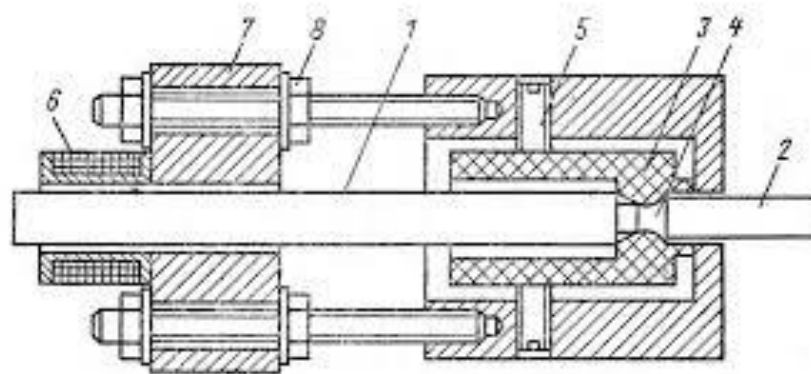


Рисунок 2.5 - Магнітострикційний ЕАП з кріпленням в місці з'єднання із звукопроводом

Конструкція магнітострикційного перетворювача з кріпленням в місці з'єднання із звукопроводом: 1 – магнітострикційний сердечник, 2 – звукопровід, 3 – графітний стакан, 4 – канавка, 5 – штопорні гвинти, 6 – котушка збудження, 7 – кільця, 8 – регулююча гайка[3].

Вона забезпечує кріплення перетворювача в місці з'єднання магнітострикційного осердя із звукопроводом за допомогою графітової втулки, яка складається з двох половин і фіксує осердя із звукопроводом канавкою. Втулка закріплена графітовими стопорними гвинтами. Котушка збудження встановлена на кільці, а її оптимальне розташування щодо торця осердя можна відрегулювати гайками. Задній торець осердя спирається на підп'ятник, виготовлений з графіту, фторопласту або гуми.

Використання пермендюру як магнітострикційного матеріалу викликає багато технічних труднощів, пов'язаних зі складністю виготовлення тонких трубок і високою важливістю системи попереднього нагрівання. Як вихід із ситуації, що склалася, було запропоновано використовувати пластини пермендюру, скручені по довжині спіраллю.

Нікелеві перетворювачі можуть бути виготовлені в тонкостінних трубках з поздовжнім розрізом і штампованих пластинах. Також рекомендується використовувати стрижні, виготовлені шляхом обертання навколо тонкого каркаса з попередньо оксидованої фольги. Це забезпечує низькі втрати на вихрові струми та спрощує адаптацію до акустичних трубок шляхом вибору кількості витків.

Конструктивно ЧЕ має багато типів, пов'язаних з вибором коливань, властивостями, що підлягають вимірюванню, кількістю зон тощо. В даному випадку ми використовуємо вольфрамовий ЧЕ з поздовжніми коливаннями.

При використанні багатозонних термометрів виникають певні труднощі із забезпеченням необхідного співвідношення поперечних перерізів, коли довжини зон відносно великі. Експериментальні випробування різних варіантів ЧЕ показали можливість створення ЧЕ за допомогою канавок із дротів певного діаметру з поступовою зміною значення діаметра перед переходом.

Ефективнішим є створення багатозонних ЧЕ на базі формування в стержні елементів відбивання (ЕВ) у вигляді завад невеликих лінійних розмірів. Для даного ЧЕ: 2,0; 1,1; 2,0; 1,3 мм, як показано на рисунку 2.6.

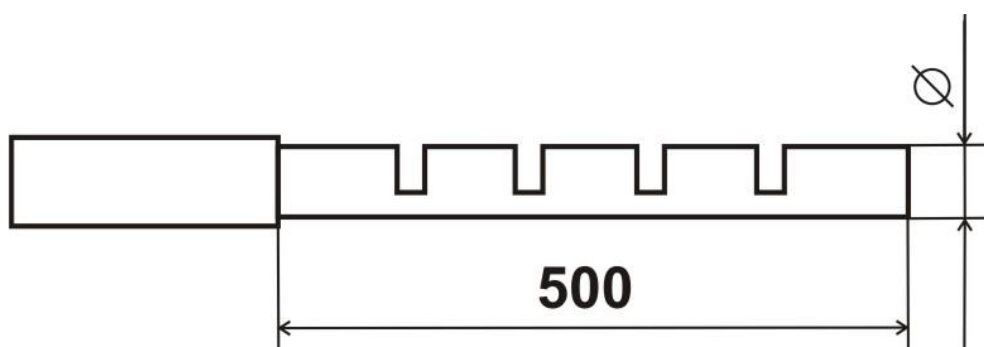


Рисунок 2.6 - Чутливий елемент багатозонного імпульсного термометра

Коефіцієнт відбивання r у цьому випадку можна обчислити, використовуючи співвідношення для відбивання сигналів від тонкого

прошарку, замінивши хвильовий імпеданс ρv безмежного тіла на імпеданс стрижня $\rho v S$.

$$r = \frac{\varepsilon^2 - 1}{\sqrt{(\varepsilon^2 + 1) + \varepsilon^2 \cot 2\pi \frac{1}{\lambda}}}, \quad (2.1)$$

де r – коефіцієнт відбивання;

λ – довжина хвилі основної моди акустичного сигналу в матеріалі ЧЕ

Значення ε визначаємо за формулою:

$$\varepsilon = \frac{d^2}{(d \pm 2a)^2}, \quad (2.2)$$

де d – діаметр стрижня;

a – глибина проточини (-) або висота виступу (+).

Щоб отримати із розрахунків добуток ρv , вважаємо, що ЧЕ виконаний з одного матеріалу. Для знаходження довжини хвилі основної моди акустичного сигналу в матеріалі ЧЕ знайдемо частоту ультразвукових хвиль за формулою:

$$f_n = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ (Гц)}, \quad (2.3)$$

де n – номер хвилі; l – довжина зони; E – модуль Юнга для вольфраму; ρ – густина вольфраму.

З рекомендованої літератури вибираємо показник для вольфраму $E = 406.8 \cdot 10^9$ Па, $\rho = 19300$ кг/м³. Довжина однієї зони дорівнює 0.1 м. Тоді:

$$f_n = \frac{1}{2 \cdot 0.1} \sqrt{\frac{406.8 \cdot 10^9}{19300}} = 22955,24 = 23 \cdot 10^3 \text{ (Гц)}.$$

За формулою 2.3 знаходимо довжину хвилі основної моди акустичного сигналу ЧЕ:

$$\lambda = \frac{v}{f_n} \text{ (м)}, \quad (2.4)$$

За формулою 2.2 визначаємо відношення ε для кожної зони:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_3 = \frac{D^2}{(D \pm 2a)^2} = \frac{2^2}{(2+2 \cdot 2)^2} = 0.11 ,$$

$$\varepsilon_2 = \frac{D^2}{(D \pm 2a)^2} = \frac{2^2}{(2+2 \cdot 1.1)^2} = 12.5 ,$$

$$\varepsilon_4 = \frac{D^2}{(D \pm 2a)^2} = \frac{2^2}{(2+2 \cdot 1.3)^2} = 11.1 .$$

Підставимо отримані дані в формулу (2.1) отримуємо $r_1 = -0.05684$, $r_2 = 0.07855$, $r_3 = -0.05684$, $r_4 = 0.06975$.

Коефіцієнт проходження можна обчислити із співвідношення $t^2 = 1 - r^2$

Амплітудні характеристики відбитих сигналів аналізувати за схемою, яка зображена на рисунку 2.7

При однаковій довжині зон, послідовність амплітуд відбитих сигналів можна зобразити так:

$$\begin{aligned} A_0 &= r, \\ A_1 &= rt^2, \\ A_2 &= rt^4 + r^3t^2, \\ A_3 &= rt^6 + 3r^3t^4, \\ A_4 &= rt^8 + 6r^3t^6, \\ A_5 &= -t^{10} + 10r^3t^8. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Першим компонентом рівняння є основний відбитий сигнал, а другим компонентом є сигнал, який накладається на основний відбитий сигнал одним

додатковим відбиттям у межах зони. На рисунку 2.5 таке відображення показано пунктиром. Багаторазові відбиття не враховуються. Причини полягають, в тому, що його амплітуда набагато менша і його вплив на результат слабший, також для того, щоб уникнути непотрібних обчислювальних ускладнень.

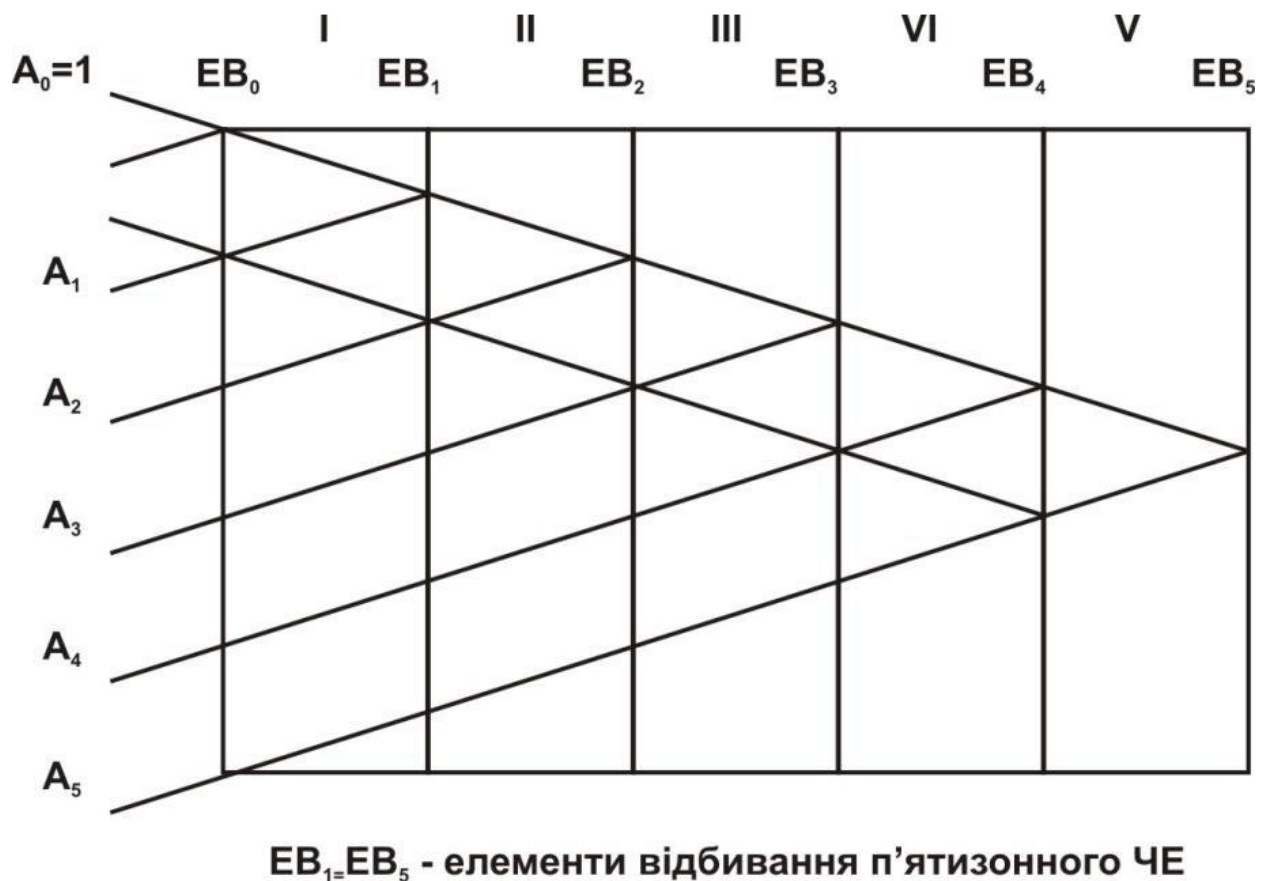


Рисунок 2.7 - Відбивання сигналів у багатозонному чутливому елементі

Як видно з наведених співвідношень, зі збільшенням кількості зон зростає і вплив додаткових відображень. За допомогою формули (2.5) розрахуємо амплітуди відбитих сигналів.

$$A_0 = 0,$$

$$A_1 = -0.05,$$

$$A_2 = 0.068 \cdot 3.3 \cdot 10^{-4},$$

$$A_3 = -0.057 \cdot 4.1 \cdot 10^{-4},$$

$$A_4 = 0.068 \cdot 2 \cdot 10^{-3},$$

$$A_5 = -1.$$

Тому при проектуванні ЕВ необхідно знайти найкращий компроміс між необхідністю достатньої амплітуди відбитого сигналу для подальшої обробки, мінімізуючи ефекти паразитних відображень, і простою технічною реалізацією. Для ефективної роботи багатозонного ЧЕ необхідно вибрати невелике значення коефіцієнта відбиття r (в межах 0,05–0,2). Це мінімізує вплив повторних відбитих сигналів у зонах однакової довжини.

3 ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ КАСКАДІВ ПРИСТРОЮ

3.1 Розрахунок схеми вхідного каскаду приймача

Схема вхідного каскаду приймача, яку монтують в корпусі ЕАП показаний на рисунку 3.1.

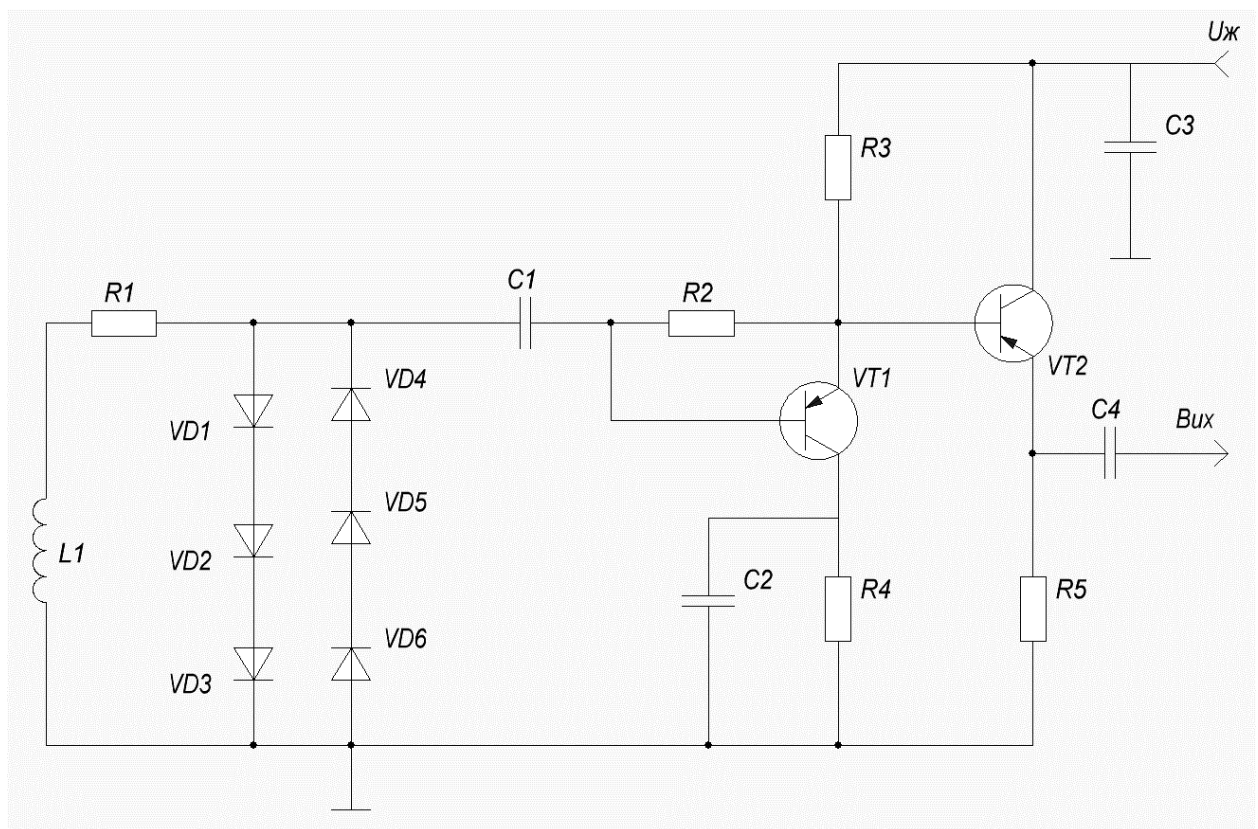


Рисунок 3.1 - Схема вхідного каскаду приймача

Вибір транзистора залежить від показників частоти та потужності. До типових схем вимірювання рекомендується використовувати імпульс збудження тривалістю 3 мкс. При оцінці спектру відбитого сигналу, його тривалість імпульсу становить 3 мкс. Тоді вузли спектру таких прямокутних імпульсів будуть знаходитись на частотах $f_1 = 1/3\text{мкс} = 0,33 \text{ МГц}$, $f_2 = 2/3 \text{ мкс} = 0,67 \text{ МГц}$, $f_3 = 3/3 \text{ мкс} = 1 \text{ МГц}$. Обираємо робочий спектр частот в 9-10 разів більше ніж f_1 , тоді при $f_{пр} = 2.97 \text{ МГц}$. Амплітуда вхідних сигналів знаходиться

в межах до $U_{Bx} = U \cdot A_i$, де A_i - амплітуда відбитого сигналу, тоді $U_{Bx} = 15V \cdot 0.05684 = 0.8V$. Напруга 15В використовується для живлення інших ланцюгів, тому напруга в цій частині ланцюга також становить 15В. З цього ми робимо висновок, що для цієї схеми потрібен транзистор низької потужності з максимально допустимою напругою колектору 20В або більше. Таким вимогам задовольняє транзистор серії КТ361А. Вибираємо режим транзистора за постійним струмом

$$R_3 = \frac{U_3}{I_{K0}} \text{ (Ом)}, \quad (3.1)$$

Визначаємо значення напруги для постійного режиму $U_{KE0} = 0.4E = 0.4 \cdot 15V = 6V$. Задаємо струм $I_{K0} = 1.8 \text{ мА}$ тоді отримаємо значення напруги на резисторі R_4 $U_{R4} = 0.63V$. Таким чином:

$$R_2 = \frac{E - U_{KE0} - U_{R3}}{I_{K0}} = \frac{15 - 6 - 0.63}{1.8} = 4,65 \text{ (кОм)}.$$

З номінального ряду опорів вибираємо резистор з номіналом 4.7 кОм. Для розрахунку R_2 скористаємось формулою

$$R_2 = \frac{E - U_{R3} - U_{R4} - U_{BE}}{I_{B0}}, \quad (3.2)$$

$$I_{B0} = \frac{I_{K0}}{h_{21e}}, \quad (3.3)$$

де $h_{21e} = 100$;

$U_{BE} = 0.63V$

Тоді :

$$I_{B0} = \frac{1.8 \cdot 10^{-3}}{100} = 1.8 \cdot 10^{-5} \text{ (A) ,}$$

$$R_2 = \frac{15 - 9.3 - 1 - 0.63}{1.8 \cdot 10^{-5}} = 226 \text{ (кОм) .}$$

Для розрахунку R_4 скористаємось формулою:

$$R_4 = \frac{U_{R4}}{I_{K0}} = \frac{0.63}{1.8 \cdot 10^{-3}} = 350 \text{ (Ом) ,}$$

Для розрахунку C_2 скористаємось формулою

$$\frac{1}{2\pi f C_2} \ll R_4 \text{ .} \quad (3.4)$$

Звідси

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f R_4} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2.97 \cdot 10^6 \cdot 350} = 1.5 \cdot 10^{-10} \text{ (Ф) ,}$$

Аналогічно і для C_1

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f R_{Bx}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2.97 \cdot 10^6 \cdot 1000} = 5.4 \cdot 10^{-11} \text{ (Ф) ,}$$

де $R_{Bx} = 1 \text{ кОм}$.

З номінального ряду ємностей вибираємо конденсатор з номіналом $C_1 = 56 \text{ пкФ}$. Для розрахунку R_5 скористаємось формулою

$$(U_{R4} + U_{K01}) - U_{B02} = U_{R5} \text{ ,} \quad (3.5)$$

де $U_{R5} = 6\text{В}$, тоді

$$R_5 = \frac{U_{R5}}{I_K} = 3.3 \text{ (кОм)} .$$

3.2 Розробка принципової схеми передавача

Для розробки схемного рішення для імпульсного термометра можна рекомендувати використання відомих схем, створених для неруйнівного контролю або фізичних досліджень. Удосконалення цих схем полягає у введенні перетворювача коду «час-температура», який виводить інформацію про числове значення виміряної температури. Однак більшість термометрів, включаючи високотемпературні термометри та ультразвукові багатозонні термометри, вимагають спеціальних схемних рішень для забезпечення конкретних характеристик вимірювання.

Перша група проблем, які необхідно вирішити при створенні імпульсного термометра, це формування коротких імпульсів струму достатньої амплітуди (при використанні магнітострикційних перетворювачів). На рисунку 3.2 показана схема передавача з тиристорним виходом.

Каскад VT1, VT3 забезпечує періодичну зарядку конденсатора C1, а каскад VT2 використовується для управління тиристором VD2. При падінні сигналу на вході системи тиристор відключається. При цьому обривається ланцюг зарядки VT1R3C1. По ланцюгу C1L1VD2 протікає імпульс розрядного струму. Діод VD1 потрібен для перемикання негативної вихідної напруги котушки передавача L1. Така схема може видавати струми (значення амплітуди) до 60 А з амплітудою 0,5 і тривалістю імпульсу 3 мкс. Максимальний струм можна встановити значенням зарядної напруги та ємності C1.

3.3 Розробка принципової схеми вхідного каскаду приймача

Рекомендується розміщувати вихідний з'єднувач передавача та вхідний підсилювач відбитого сигналу безпосередньо біля магнітострикційного ЕАП. Що стосується передавача, то це пов'язано з великим імпульсним струмом у колі котушки збудження та потребою звести до мінімуму паразитну ємність та індуктивність, особливо якщо з'єднувальний кабель довгий. Останнє також стосується вхідної лінії приймача, де має бути забезпечене високе відношення сигнал/шум.

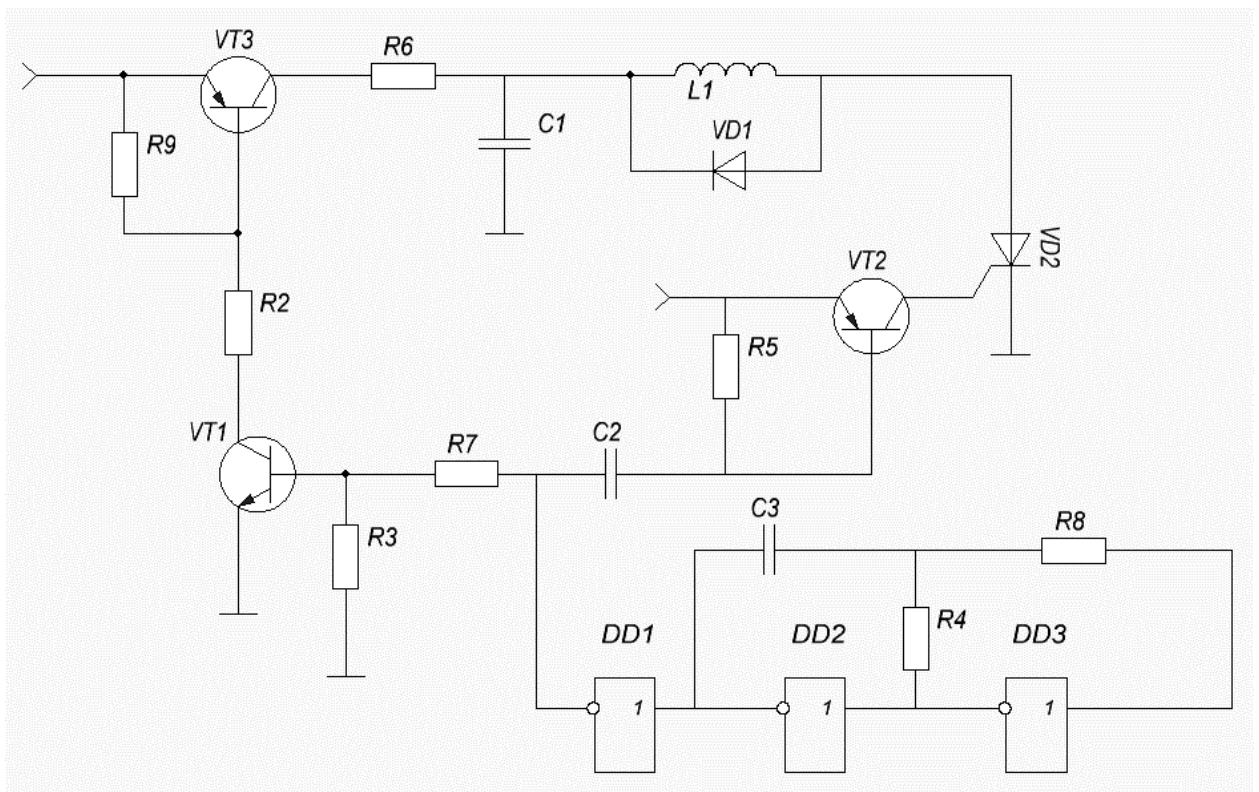


Рисунок 3.2 - Схема передавача с тиристорним виходом

Луна-сигнал від котушки ЕАП надходить через R1C1 на вхід транзистора VT1, де він посилюється. Діоди VD1 - VD3, VD4 - VD6 призначені для захисту вхідного кола від перевантажень під час передачі імпульсу. Крім того, якщо передавальну та приймальну котушки намотати на одну раму, то

через велику різницю в кількості обертів висновків передавальної котушки під час передачі буде генеруватися імпульс високої напруги з амплітудою 100 мкВ. Може виникнути напруга до кількох кіловольт.

3.4 Розробка принципової схеми початкового шукання сигналів та формування імпульсів

Схема початкового пошуку луна-сигналу і формування імпульсу наведена на рисунку 3.3. Мікросхема DA1 оснащена підсилювачем попереднього входу, а сигнал з її виходу надходить на схему R24VD10C13, яка виконує функції амплітудного детектора та схеми інтегратора. Каскад DA2 виконує функції підсилювача та узгоджувальної ланки.

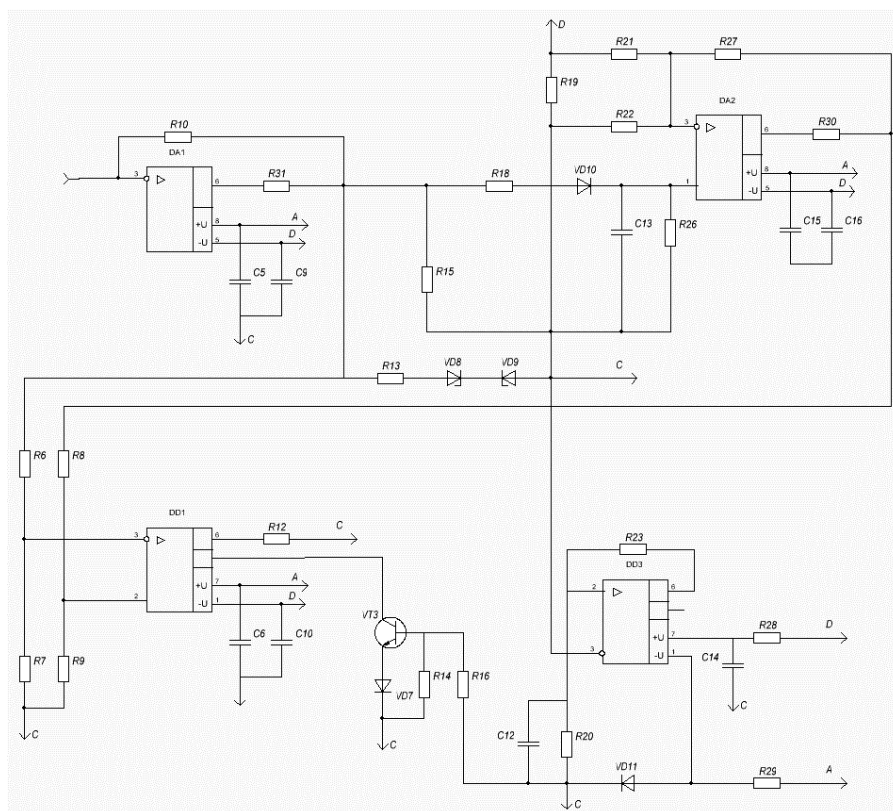


Рисунок 3.3 - Схема початкового шукання відбитих сигналів та формування імпульсів

Випрямлений сигнал з виходу DA2 надходить на один із входів компаратора DD2, а сигнал з виходу DA1 надходить на другий вхід. Під час паузи між відбитими сигналами компаратор забезпечується замкнутою напругою з виходу DA2. Коли відбитий сигнал потрапляє на вхід, напруга на виході DA2 змінюється слабо (через підключення RC ланки) і швидко змінюється на виході DA1. Це призведе до появи імпульсу на виході DD2, що вказує на наявність помилки відбитого сигналу. Така схемотехніка дозволяла обходитися без встановлення конкретних граничних рівнів на вході компаратора і забезпечувала коректну роботу в широкому діапазоні зміни амплітуди відбитих сигналів. Резистор R24 необхідний для установки постійного часу підключення C15R24, а резистор R26 задає потрібне посилення каскаду на DA2. Каскад VT6 управляє компаратором DD2. Сигнал з виходу DA1 також надходить на вхід високошвидкісного компаратора на мікросхемі KM597CA2. Цей компаратор використовує відбиті сигнали для формування робочих імпульсів, корисних для схем вимірювання часових інтервалів. Наростаючий і спадаючий фронти цих імпульсів відповідають нульовим переходам луна-сигналу. При проведенні інтервальних вимірювань рекомендуємо використовувати дві групи лічильників.

Один з них підраховує кількість квантових імпульсів, але інформація про попередній результат видаляється з другого виходу. Насправді ці групи змінюють розташування з кожним наступним циклом вимірювання.

3.5 Розробка принципової схеми цифрової частини

Для вирішення задачі вимірювання інтервалу часу ми використовуємо мікроконтролер серії AT90LS4433.

Atmel виробляє серію мікроконтролерів AT90LS4433, які включають вищевказані пристрої. Давайте обговоримо особливості такого мікроконтролера. Мікроконтролер AT90L84434 реалізовано в архітектурі AVR RISC (гарвардська архітектура з окремою пам'яттю через окремі шини

для пам'яті програм і даних). Виконуючи інструкції за один такт, пристрій забезпечує продуктивність, близьку до 1 MIP5/МГц. Ядро AVR поєднує в собі високопродуктивну систему інструкцій з 32 8-розрядними регістрами загального призначення та конвеєрний доступ до програмної пам'яті. Шість із 32 регістрів доступні як три 16-розрядних покажчиків для непрямої адресації простору пам'яті. Виконання відносних переходів і команд виклику здійснюється шляхом безпосереднього звернення до всього обсягу (2К/4К) адресного простору. Адреси периферійних функцій містяться в пам'яті вводу/виводу. Ця архітектура ефективно підтримує як програми високого рівня, так і програми на мові асемблера.

Мікроконтролери включають внутрішні програмовані FLASH пам'яті на 4 Кбайт (2Кх16), внутрішніх програмованих FLASH пам'яті на 8 Кбайт (4Кх16), 32 лінії вводу та виводу загального призначення, 32 регістри загального призначення, двоє 8-розрядних таймера та один 16-бітний таймер. Лічильник із режимом збору даних і порівняння, годинник реального часу, 8-канальний 10-розрядний АЦП, внутрішня зовнішня система переривань, програмований послідовний порт введення/виведення ФАКТ), програмований сторожовий таймер із внутрішнім генератором, внутрішня зарядка системи і послідовний інтерфейс з інтерфейсом SPI для зв'язку із зовнішніми пристроями. Три режими енергозбереження керуються програмно.

Вбудована Flash пам'ять програм може перепрограмуватися безпосередньо в системі за допомогою інтерфейсу SPI (у послідовному низьковольтному режимі) чи програмуватися стандартними програматорами енергонезалежної пам'яті (у 12 вольтовому рівнобіжному режимі), програмування мікроконтролерів ведеться побайтово.

Вбудовану флеш-пам'ять програм можна перепрограмувати безпосередньо в системі через інтерфейс SPI (низьковольтний послідовний режим) або за допомогою стандартного програматора енергонезалежної пам'яті (12-вольтовий паралельний режим).

Мікроконтролер програмується побайтно. Максимальне споживання пристрою становить 3,0 мА в активному режимі і 1,2 мА в пасивному режимі (для $V_{CC} = 3 \text{ В}$, $f = 4 \text{ МГц}$). У режимі зупинки мікроконтролер споживає 15 мкА через роботу сторожового таймера.

Об'єднавши вдосконалений 8-розрядний RISC-процесор і завантажувальну флеш-пам'ять на одному чіпі, компанія змогла розробити потужний мікроконтролер, який забезпечує високу гнучкість і економічну ефективність використання.

Для вимірювання часових параметрів мережі живлення використовуємо аналогові компаратори на мікроконтролері. Він порівнює рівні напруги на позитивному вході PB2. (AINO) підключається до сигналу і виходу ОУ, а негативний вхід PB3 (AINI) підключається до сигналу, що надходить на інвертуючий вхід ОП.

Якщо напруга на позитивному вході PB2 (AINO) більше напруги на негативному вході PB3 (AINI), то на виході аналогового компаратора АСО крім аналогового компаратора встановлюється стан логічного блоку. Якщо потрібно сформувати імпульс по передньому фронту, необхідно подати рівень логічної одиниці на обидва входи вибору режиму переривання ACIS1 і ACIS0. Тривалість цих імпульсів відповідає часу, коли напруга перевищує 2,5 В.

Мікроконтролер AT90LS4433 має такі технічні характеристики;

- діапазон напруги живлення: від 2,7 до 6,0 В;
- діапазон тактової частоти; від 0 до 4 МГц;
- діапазон роботи АЦП: від 0 до 6 В;
- час перетворення АЦП: 70...280 мс;
- клас точності 0,05.

Мікропроцесорна система також містить мікросхему перетворення рівня для передачі даних, вимірюваних мікроконтролером, через послідовний канал RS232. При передачі через канал RS232 0 і 1 кодуються сигналами однакової величини 5В-12В але з різними знаками.

При передачі через RS232 стандартні логічні сигнали повинні бути перетворені в інші рівні сигналів, тому метод повинен забезпечувати відповідні засоби перетворення. Буде використана мікросхема ADM232 і тільки один її канал прийому та передачі. Схема включення послідовного інтерфейсу RS232 показана на рисунку 3.4.

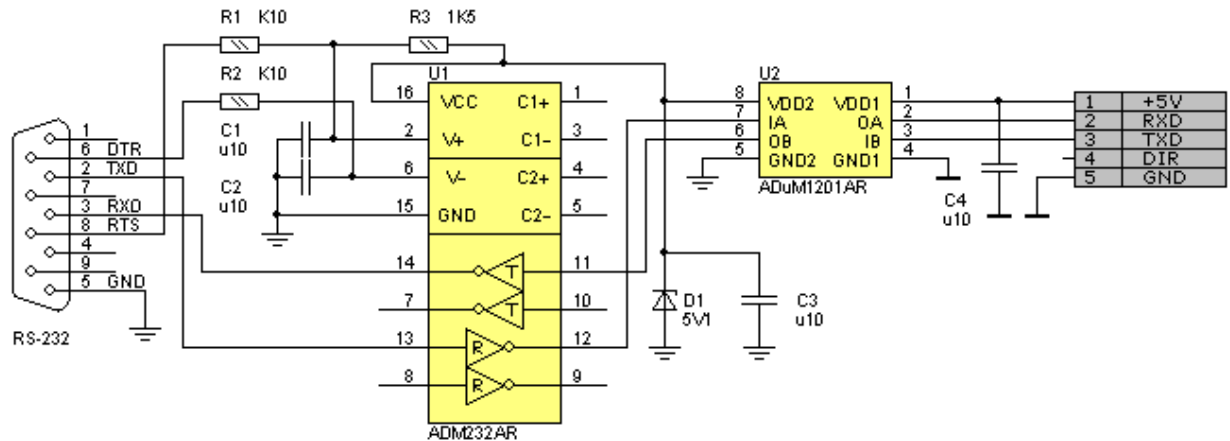


Рисунок 3.4 - Схема включення інтерфейсу RS232

Оскільки мікроконтролер має різні помилки передачі на різних швидкостях і опорних частотах, ця помилка є мінімальною при 200 кб/с із використаною опорною частотою 4 МГц. Тому використовується така швидкість. Цього достатньо для обміну інформацією між мікроконтролером і комп'ютером, але також можна використовувати старі 386 комп'ютери.

Технічні характеристики послідовного інтерфейсу ADM232AR:

- діапазон вхідної напруги низького рівня: від 0 до 0,8 В;
- діапазон вхідної напруги високого рівня; від 2,4 до 5 В;
- час установки вихідної напруги: 4 мс;
- діапазон вихідної напруги; ± 9 В;
- швидкість передачі даних: 200 кб/с; максимальна помилка при передачі; 0,2 %.

4 КОМП'ЮТЕРНЕ СХЕМОТЕХНІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БЛОКІВ ПРИБОРУ

4.1 Моделювання блоку терморегулятора

В даній бакалаврській дипломній роботі моделювання здійсниться за допомогою програмного пакету NI Multisim тому що, даний програмний пакет зараз найбільш розповсюджений, простий у користуванні та має великий набір бібліотек з елементами.

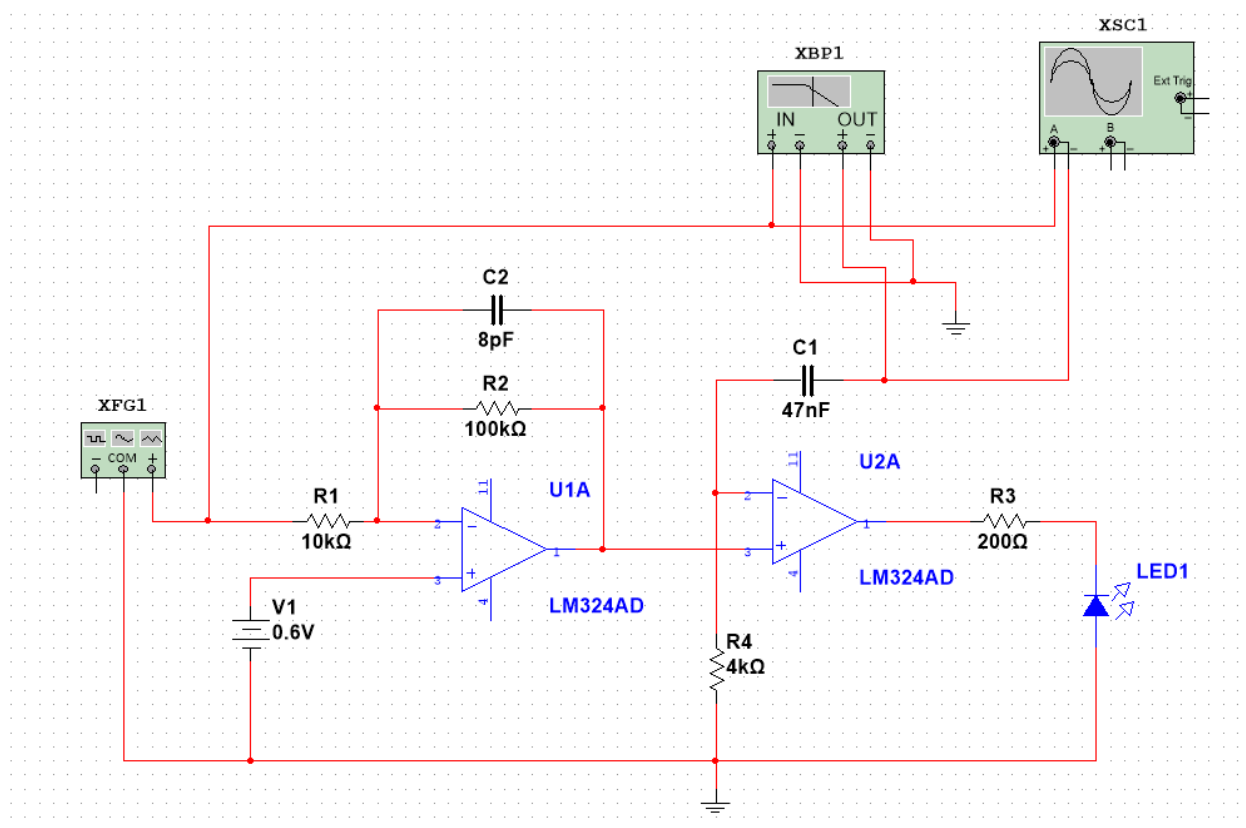


Рисунок 4.1 – Схема блоку терморегулятора в моделюючому пакеті NI Multisim

Як можна бачити на рисунку 4.2, панель керування функціонального генератора має параметри для вибору рівня вхідного сигналу, частоти вхідного

сигналу та форми вхідного сигналу (синусоїда, зубчаста форма сигналу та прямокутний імпульс).

Щоб спростити моделювання, для моделювання вибрано ідеальний операційний підсилювач. Перший варіант застосовує першу опорну напругу живлення 0,6 В. Оскільки температура змінюється незначно (тисячі разів на секунду), ми працюємо на дуже низьких частотах. Тепер подамо на вхід трикутний сигнал частотою 1 Гц і амплітудою 1 В.

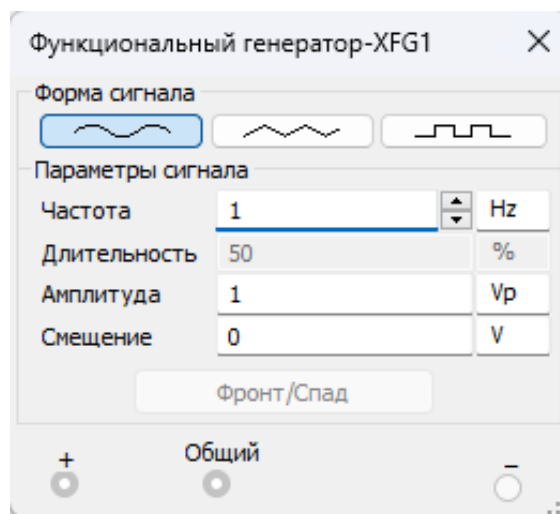


Рисунок 4.2 – Панель керування функціональним генератором в моделюючому пакеті NI Multisim

Осцилограму вхідних і вихідних сигналів наведено на рисунку 4.3. Потім змінюємо опорну напругу джерела живлення на 0,63 В. На рисунку 4.4 показана діаграма вхідного/вихідного сигналу.

Проведемо моделювання імпульсної характеристики досліджуваної схеми. Імпульсна характеристика схеми - це відповідь схеми на один дельта-імпульс. Проаналізуємо одиничний дельта-імпульс як прямокутний сигнал із дуже малою шириною імпульсу. У цьому випадку тривалість імпульсу становить 0,1% від тривалості циклу.

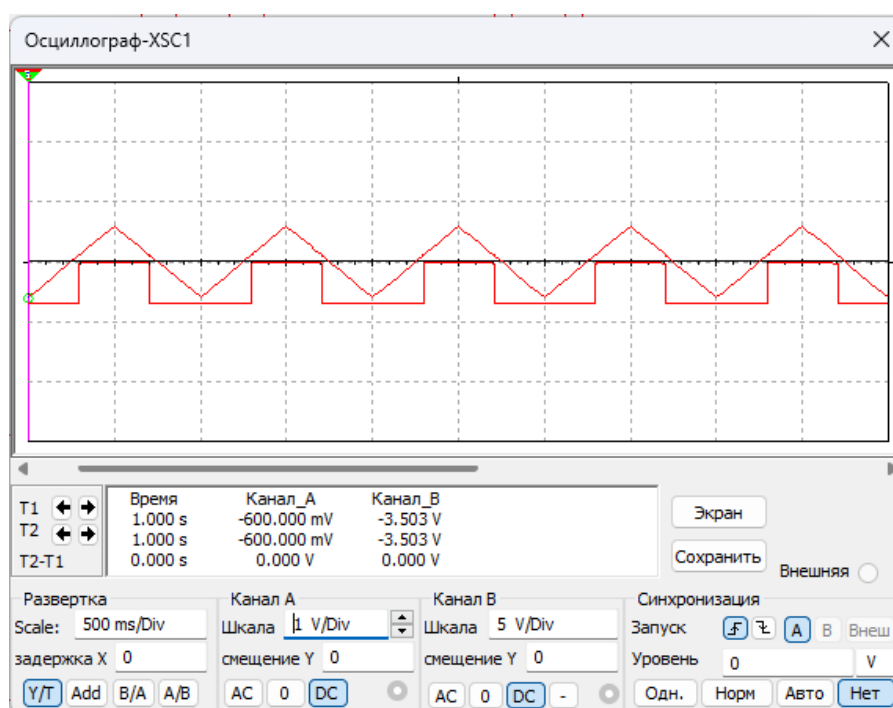


Рисунок 4.3 – Осцилограммы входного та вихідного сигналу при $U_r = 0,6$ В

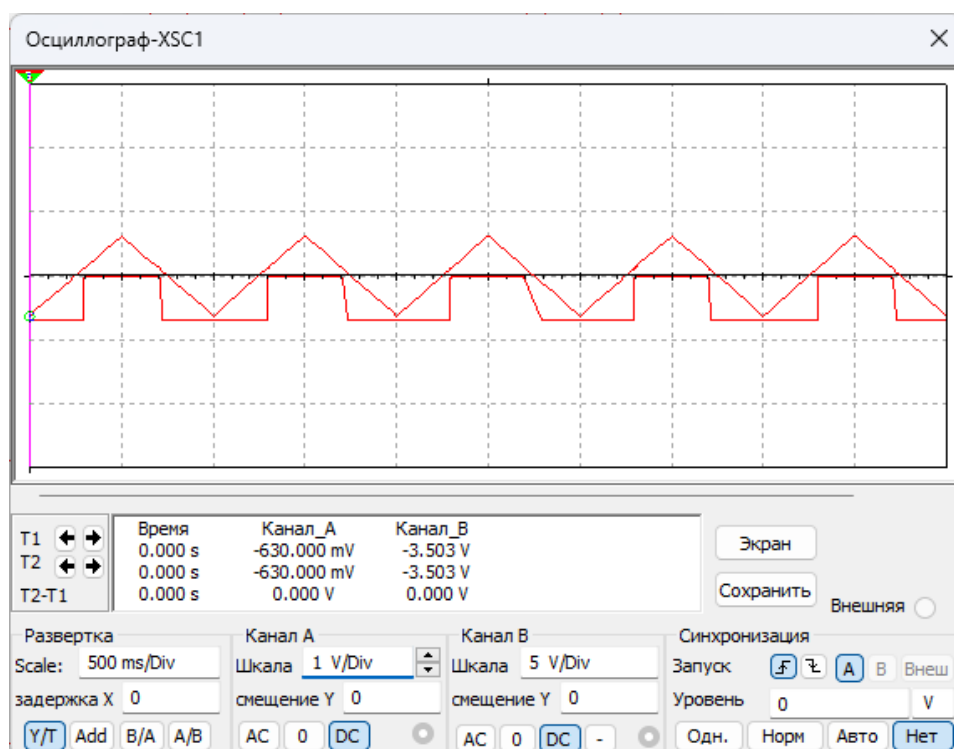


Рисунок 4.4 – Осцилограммы входного та вихідного сигналу при $U_r = 0,63$ В

4.2 Моделювання частотних характеристик блоку терморегулятора

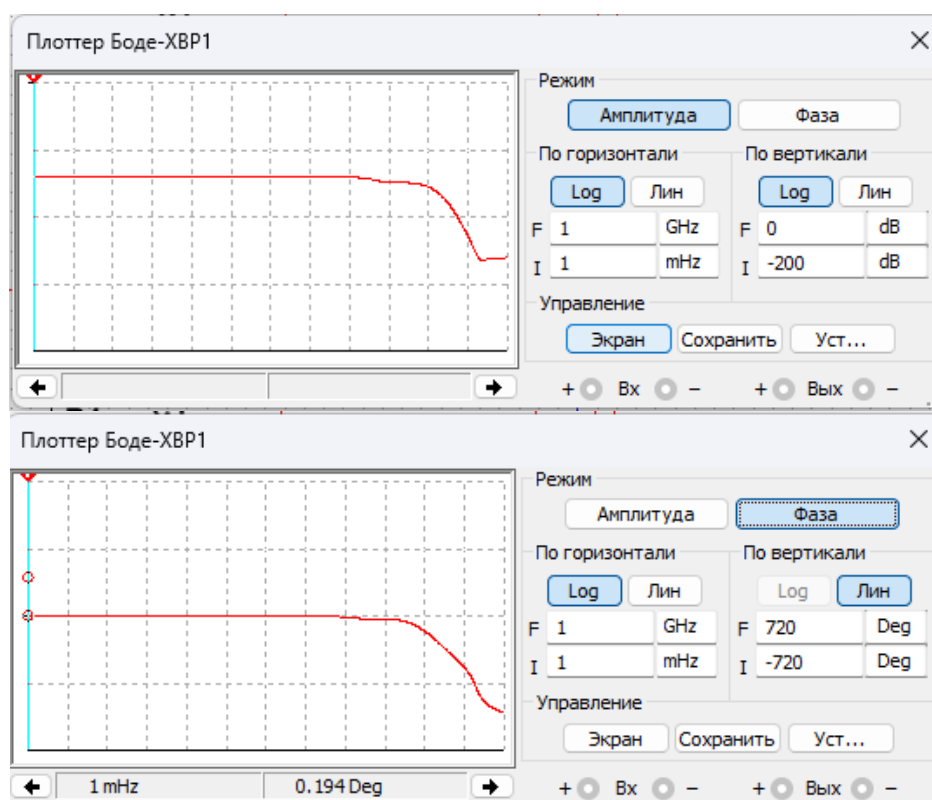


Рисунок 4.5 – АЧХ та ФЧХ блоку терморегулятора

Далі подамо на вхід пристрою сигнал з функціонального генератора XFG1 з параметрами на рисунку 4.6.

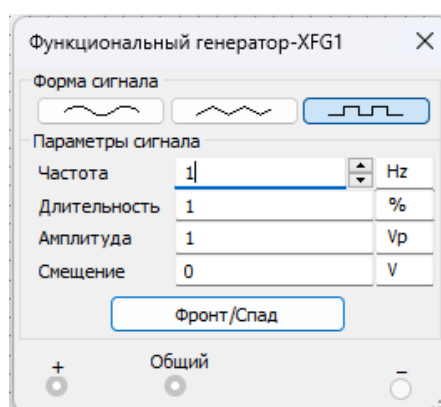


Рисунок 4.6 – Панель функціонального генератора в моделюючому пакеті NI Multisim для дослідження імпульсної характеристики

На рисунку 4.3 видно, що коли рівень вхідного сигналу перевищує 600 мВ, вихідна напруга починає змінюватися в протилежний бік. На виході пристрою почне світитися сигнальний світлодіод (індикатор). Так само він буде зникати, коли рівень вхідного сигналу зменшиться.

З рисунка 4.4 видно, що коли рівень вхідного сигналу перевищує 630 мВ, вихідна напруга починає змінюватися в протилежному напрямку. На виході пристрою почне світитися сигнальний світлодіод (дисплей). Так само він буде зникати, коли рівень вхідного сигналу зменшиться. У разі зворотної полярності світлодіод загориться при зниженні температури (вхідного сигналу). Помітні навіть невеликі спотворення.

Промодельовавши повністю проєктований пристрій, можна зробити висновок про відповідність умовам технічного завдання.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці — складне і відповідальне питання, що стосується безпеки та здоров'я працівників, які виробляють матеріальні блага для суспільства. Згідно з міжнародним досвідом, безпека праці є основною умовою для стабільності, якості та ефективності будь-якого виробництва. Зменшення професійної захворюваності та уникнення нещасних випадків позитивно впливають на професійну активність працівників, моральний дух колективу, і загалом, на продуктивність праці та витрати на пільги та компенсації за роботу в умовах, що загрожують здоров'ю. Україна стикається з декількома факторами, які призводять до низького рівня організації охорони праці:

- Низький рівень кваліфікації, виробничої культури та дисципліни на робочому місці.
- Застаріле обладнання та відсутність ефективного управління охороною праці на галузевому та регіональному рівнях.
- Недостатні інвестиції у виробництво та охорону праці.
- Недостатнє фінансування заходів з охорони праці з боку роботодавців.
- Неотримання відповідної підготовки та низький рівень підвищення кваліфікації фахівців з охорони праці.
- Хронічне недофінансування національних, галузевих та регіональних програм щодо підвищення безпеки на робочих місцях.
- Відсутність чіткої організації охорони праці на підприємствах.
- Нестворення державної політики та системи стимулювання безпечної праці.
- Недостатня увага до питань безпеки на різних рівнях управління та виконання.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори можуть мати вплив на проектувальника радіовимірювального ультразвукового багатозонного

термометра наступні: підвищена чи понижена температура повітря робочої зони; недостатнє освітлення робочої зони; недостатність природного освітлення; підвищений рівень шуму на робочому місці; відсутність чи нестача природного світла; фізичні перевантаження (статичні); нервово - психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів, емоційні навантаження).

Відповідно до визначених факторів формуємо рекомендації щодо безпечних умов праці під час проектування радіовимірювального ультразвукового багатозонного термометра.

5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Однією із характерних особливостей сучасного розвитку суспільства є зростання сфер діяльності людини, в яких використовуються інформаційні технології. Широке розповсюдження отримали персональні комп'ютери. Однак їх використання загостило проблеми збереження власного та суспільного здоров'я, вимагає удосконалення існуючих та розробки нових підходів до організації робочих місць, проведення профілактичних заходів для запобігання розвитку негативних наслідків впливу ПК на здоров'я користувачів.

Відповідно до встановлених гігієнічно-санітарних вимог (ДСН 3.3.6.042-99[26]) роботодавець зобов'язаний забезпечити в приміщеннях з ПК допустимі параметри виробничого середовища.

Робоче місце проектувальника радіовимірювального ультразвукового багатозонного термометра ПК повинне бути розташовані на відстані не менше 1,5 м від стіни з вікнами, від інших стін – на відстані 1м, від інших користувачів – на відстані не менше 1,5 м. Відносно вікон робоче місце доцільно розташувати таким чином, щоб природне світло падало на нього збоку, переважно зліва.

При розташуванні елементів робочого місця користувача ПК слід

враховувати:

- робочу позу користувача;
- простір для розміщення користувача;
- можливість огляду елементів робочого місця;
- розміщення документації і матеріалів, які використовуються користувачем.

Для забезпечення точного та швидкого зчитування інформації в зоні найкращого бачення площина екрана монітора повинна бути перпендикулярною нормальній лінії зору. При цьому повинна бути передбачена можливість переміщення монітора навколо вертикальної осі в межах $\pm 30^\circ$ (справа наліво) та нахилу вперед до 85° і назад до 105° з фіксацією в цьому положенні.

Клавіатура повинна бути розташована так, щоб на ній було зручно працювати двома руками. Клавіатуру слід розміщати на поверхні столу на відстані 100...300 мм від краю. Кут нахилу клавіатури до столу повинен бути в межах від 5° до 15° , зап'ястя на долонях рук повинні розташовуватись горизонтально до площини столу.

Для запобігання світлових відблисків від екрана, клавіатури в напрямку очей користувача від освітлювачів загального призначення або сонячних променів необхідно застосовувати антивідблискові сітки, спеціальні фільтри, захисні козирки, на вікнах регульовані жалюзі.

Принтер повинен бути розміщений у зручному для користувача положенні, так, що максимальна відстань від користувача до клавіш управління принтером не перевищувала довжину витягнутої руки користувача.

Конструкція робочого стола повинна забезпечувати можливість оптимального розміщення на робочій поверхні обладнання, що використовується, з врахуванням його кількості та конструктивних особливостей (розмір монітора, клавіатури, принтера, ПК та ін.) і документів, а також враховувати характер роботи, що виконується.

Згідно з вимог електробезпеки, під час проектування та експлуатації систем електропостачання для ПК необхідно дотримуватись вимог.

Лінія електромережі для живлення ПК, периферійних пристроїв ПК та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ПК під час проектування виконана як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів.

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – без підвищеної небезпеки, у зв'язку з відсутністю факторів підвищеної та особливої небезпеки[27].

Для запобігання електротравмам у приміщенні здійснюються:

- 1) ізоляція нормально струмоведучих елементів електроустаткування відповідно з вимогами нормативів;
- 2) захисне заземлення із використанням природних заземлювачів;
- 3) систематичне проходження інструктажу з

електробезпеки. Вимоги безпеки перед початком роботи:

1. Перевірити надійність встановлення апаратури на робочому столі.
2. Перевірити загальний стан апаратури, справність проводки електромережі, з'єднувальних шнурів, штепсельних вилок та розеток, заземлення захисного екрана.
3. Відрегулювати освітленість робочого місця.
4. Відрегулювати і зафіксувати висоту стільця (крісла), зручний для користувача нахил його спинки.
5. Увімкнути апаратуру ПК вмикачами на корпусах в такій послідовності: стабілізатор (або блок безперервного живлення), ВДТ, системний блок, принтер (якщо передбачається друкування).
6. Відрегулювати яскравість світіння екрану ВДТ, контрастність.
7. При появі несправностей комп'ютерної техніки повідомити керівника.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

За енерговитратами проектування радіовимірювального ультразвукового багатозонного термометра згідно Гігієнічної класифікація праці [17] відноситься до категорії I б. Нормовані значення параметрів мікроклімату для цієї категорії наведені в табл.5.1

Таблиця 5.1 - Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні

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

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату здійснюються такі заходи:

1. Температура в приміщенні в холодний період року підтримується за допомогою системи центрального опалення.
2. Використовується передбачається припливна вентиляційна система.
3. Здійснюється систематичне вологе прибирання.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Шкідливі речовини – речовини, які при контакті з організмом людини внаслідок порушення технологічного процесу викликають професійні захворювання, виробничі травми або відхилення стану здоров'я.

Шкідливі речовини у повітря робочої зони поступають у вигляді пару, газів та пилу. Вплив на організм людини залежить від хімічного складу, розміру (дисперсності), форми часток та їх кількості у одиниці об'єму. Найбільш небезпечний вискодисперсний пил (розміром < 5 мкм), а також

гострокрайовий пил. Високодисперсний пил найбільш глибоко проникає та затримується у легенях.

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [27]. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

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

Для забезпечення складу повітря робочої зони слід використовувати механічну вентиляцію та забезпечити регулярне прибирання.

5.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення повинно бути боковим, бажано одностороннім. Для уникнення засліплюючої дії сонячних променів найкраще, коли світлові отвори (вікна) зорієнтовані на північ чи північний схід. Коефіцієнт природної освітленості (КПО) повинен бути не нижче 1,5%.

У приміщенні, де проводиться проектування радіовимірювального ультразвукового багатозонного термометра використовується штучне та природне освітлення. Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 5.3:

Таблиця 5.3 - Норми освітленості в приміщенні

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

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

- 1) Максимальне використання бічного природного освітлення.
- 2) Систематичне очищення скла від бруду – не рідше двох разів на рік.
- 3) Штучне освітлення в приміщенні забезпечується світильниками типу РСП08×250 (однолампові) з лампами ДРЛ-250.

5.2.4 Виробничий шум

У приміщеннях з ПК рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.037-99 [26].

Рівні шуму на робочих місцях осіб, що працюють з ПК, визначені ДСанПіН 3.3.2-007-98 [25]. Допустимі значення звукового тиску під час проектування лабораторного стенду наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 - Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін;
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

5.2.6 Виробничі випромінювання

В умовах, що розглядаються, діють електромагнітні випромінювання. Джерелами електромагнітних випромінювань являються ПК, дослідницькі установки та вимірювальні пристрої.

Рівні електромагнітного випромінювання та магнітних полів повинні відповідати вимогам. Рівні інфрачервоного випромінювання не повинні перевищувати граничних. Рівні ультрафіолетового випромінювання не повинні перевищувати допустимих [25].

Гранично допустима напруженість електростатичного поля на робочих місцях не повинна перевищувати рівнів [22].

Заходи щодо зменшення впливу на працівника електромагнітного випромінювання: оптимальна організація робочого місця, доцільне розміщення технологічного устаткування, дотримання гігієнічно-обґрунтованих режимів праці та відпочинку, зменшення часу перебування у зоні опромінення.

5.3 Пожежна безпека

Приміщення, де здійснюється проектування радіовимірювального ультразвукового багатозонного термометра відноситься до категорії пожежної безпеки В (табл.5.5).

Таблиця 5.5 Категорія приміщення за вибухопожежною і пожежною небезпекою

Категорія приміщення	Характеристика речовин і матеріалів, що знаходяться (обертаються) у приміщенні
В Пожежонебезпечна	Тверді горючі та важкогорючі речовини і матеріали, за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться, не відносяться до категорій А, Б і питома пожежна навантага для твердих і рідких легкозаймистих та горючих речовин на окремих ділянках площею не менше 10 м ² кожна перевищує 180 МДж/м ² .

Конструкція будівлі, де розміщено приміщення, відноситься до II-го ступеня вогнестійкості (будівля з несучою конструкцією з природних матеріалів або штучного каменю, бетону або залізобетону з застосуванням листових і плиткових негорючих матеріалів).

Згідно з правилами улаштування електроустановок, приміщення відноситься до класу II-IIa пожежної небезпеки (приміщенні, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали).

5.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

До причин, що можуть спричинити пожежу в приміщенні, відносяться:

- ☐ короткі замикання;
- перевантаження електромережі і перегріву струму несучих частин та з'єднань;
- порушення правил техніки безпеки.

При виникненні аварійних ситуацій відбувається різке виділення

теплової енергії, яка може стати причиною виникнення пожежі.

Заходи щодо запобігання пожежі:

- систематична перевірка на справність струмоведучих частин обладнання;
- систематичне проведення протипожежного інструктажу;
- дотримання вимог пожежної безпеки на робочому місці.

5.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

У приміщенні можливе використання системи автоматичного пожежогасіння. Також потрібно використовувати установку порошкового пожежогасіння, що використовує у якості вогнегасної речовини спеціальний порошок, який є нетоксичним. Для подачі сигналів про пожежу у приміщенні встановлено пожежну сигналізацію. Після закінчення роботи від усіх електроприладів, а також з мереж їх живлення повинна бути відключена напруга (за винятком протипожежних та охоронних установок). Електропроводи для підключення комп'ютерів, приладів повинні прокладатися по негорючих конструктивних елементах.

Згідно норм [23] на кожні 20 м² площі приміщення вказаних категорії та класу пожежовибухонебезпеки та можливих класів пожеж – А, В і Е розміщується один порошковий або вуглекислотний вогнегасник з масою заряду від 3 до 5 кг. Крім того на поверсі, де знаходиться приміщення слід забезпечити наявність двох порошкових вогнегасників з масою заряду 10 кг.

Тому в приміщенні буде розташовуватися два порошкових вогнегасники, які будуть розміщуватись в різних його кінцях, на висоті не більше 1,5 м від рівня підлоги до нижнього торця вогнегасника і на відстані від дверей, достатній для їх повного відчинення. Підходи до місця розташування вогнегасників мають бути завжди вільними. Для зазначення місцезнаходження вогнегасників буде встановлений вказівний знак. Знак розташовують на видних місцях на висоті 2,0 -2,5 м від рівня підлоги.

ВИСНОВКИ

В даній бакалаврській роботі була розглянута актуальність, структура та принцип роботи ультразвукового багатозонного термометра. Показано актуальність теми вимірювання температури та проаналізовано технічні характеристики та особливості використання.

Проведені дослідження показують, що радіовимірювальний ультразвуковий багатозонний термометр є перспективним методом вимірювання температури. Розглянутий в даній роботі термометр володіє багатьма перевагами перед існуючими аналогами і стане цінним інструментом для різних застосувань. Це обумовлюється новизною компонентів, які дозволяють збільшувати точність вимірювань і зменшити витрати на виробництві.

Проведено вибір елементної бази для створення схеми пристрою. На основі вибраних елементів було побудовано схему електричну принципову. Було розраховано вимірювальні характеристики системи багатозонних вимірювань. Розраховано похибки вимірювань температури.

Наукова новизна розробки полягає в удосконаленні вимірювання температури з використанням ультразвукового термометра.

При дослідженні вияснилось, що термометри точні, швидкі та чутливі. Вдосконаливши структуру можна досягти високу точність вимірювань температури.

Використання ультразвукових термометрів є актуальною у багатьох сферах, таких як промисловість, медицина, різні наукові дослідження та побутове використання.

Отже, результати дослідження ультразвукового багатозонного термометра показують його надійність та актуальність, а сучасність та доступність елементної бази робить його затребуваним в багатьох сферах діяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гончаров О.С., Сапожников А.В., Висоцький Є.А. Розробка та дослідження ультразвукових термометрів // Вісник Національного технічного університету Харківський політехнічний інститут. 2017. № 51.
2. Дубініна О.В., Шульга А.С., Соколовський І.В. Ультразвуковий багатозонний термометр на основі часових різниць проходження звукових хвиль // Матеріали науково-технічної конференції Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії. – 2019.
3. Технічний опис пристрою Ультразвуковий багатозонний термометр. URL: <https://studfile.net>
4. Базові прилади URL: <http://www.avclub.pro/articles/audio-video-ot-a-do-ya/bazovye-izmeritelnye-pribory-ostsillograf-risuyushchiy-signal>.
5. Антоненко С.С., Колісніченко Е.В. Контроль та вимірювання параметрів рідин і газів : конспект лекцій - Суми : СумДУ, 2009. - 199 с.
6. Дорожовець М.М., Бурдега М. Томографічний метод вимірювання просторового розподілу температури за результатами вимірювань опору лінійних резистивних перетворювачів.// Вимірювальна техніка та метрологія – 2015 - № 76 – С.66-73.
7. Луцик Я., Буняк Л., Стадник Б. Застосування ультразвукових сенсорів. – Львів: СП „Бак”, 1998. – 232 с.
8. Ліхновський І.С. Ультразвуковий багатозонний вимірювач температури: дисертація кандидата технічних наук – Львів, 1997.
9. Луцик Я., Буняк Л., Стадник Б. Застосування ультразвукових сенсорів. – Львів: СП «БаК», 1998. – 232 с.
10. What's fuelling demand for IR grid sensors? [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.electronicsspecifier.com/sensors/what-s-fuelling-demand-for-ir-grid-sensors>
11. MLX90640 32x24 IR array – Short form Datasheet – Revision 3 - November 4, 2016

12. Дорожовець М. М. Томографічні вимірювання просторового розподілу фізичних величин на прикладах електричної та акустичної томографії: дисертація доктора технічних наук. Львів, 2001. С. 38–51.
13. Дорожовець М. М., Петровська І. Р. Дослідження методичних похибок вимірювання в електричній томографії // Вимірювальна техніка та метрологія. –2007. – № 67. – С. 13–18.
14. Засоби та методи вимірювання неелектричних величин: підручник / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, Б. І. Стадник, О. В. Івахів, Т. Г. Бойко, А. Ковальчик; за ред. Є. С. Поліщука. – Львів: Бескид Біт, 2008. – 618 с.
15. Поджаренко В.О., Кухарчук В.В., Вимірювання і комп'ютерно-вимірювальна техніка. – К.: УМКВО, 1991. -240с.
16. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>
17. ДСТУ OHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог OHSAS 18001:2007 (OHSAS 18002:2008, IDT). К. : ГП «УкрНИИУЦ», 2016. 21 с.
18. ДСНіПЗ.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>
19. НПАОП 40.1-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>
20. ДСТУ EN 62305:2012 Блискавкозахист (європейський стандарт IEC 62305:2010). URL: <https://tdsb.com.ua/ru/dstu-en-62305/>
21. ДСТУБ В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с

22. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

23. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf

24. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php

25. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

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

- [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

27. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

28. СН N 4557-88 Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.znaytovar.ru/gost/2/455788_Sanitarnye_normy_ultraf.html

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

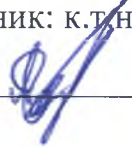
РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВИЙ БАГАТОЗОННИЙ ТЕРМОМЕТР

Виконав: студент 2(4)-го курсу, групи ТКР-22мс
спеціальності 172 - Телекомунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

 Попенко А.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., доцент кафедри ІРТС

 Савицький А.Ю.
(прізвище та ініціали)

«12» 06 2024 р.

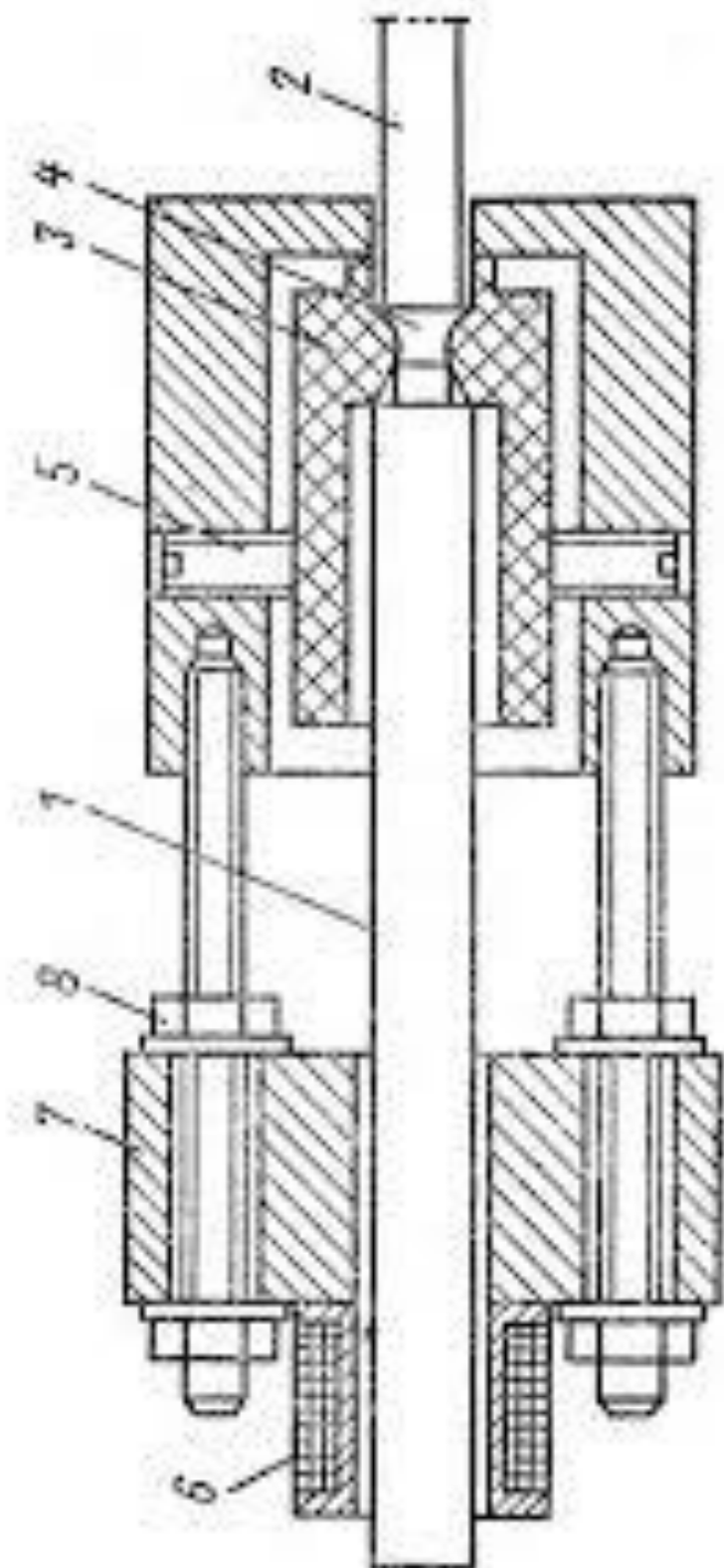


Рисунок 1 - Конструкція магнітострикційного перетворювача з кріпленням в місці з'єднання із звукопроводом: 1 – магнітострикційний сердечник, 2 – звукопровід, 3 – графітний стакан, 4 – канавка, 5 – штопорні

Рисунок 2 - Структурна схема радіовимірювального ультразвукового багатозонного термометра

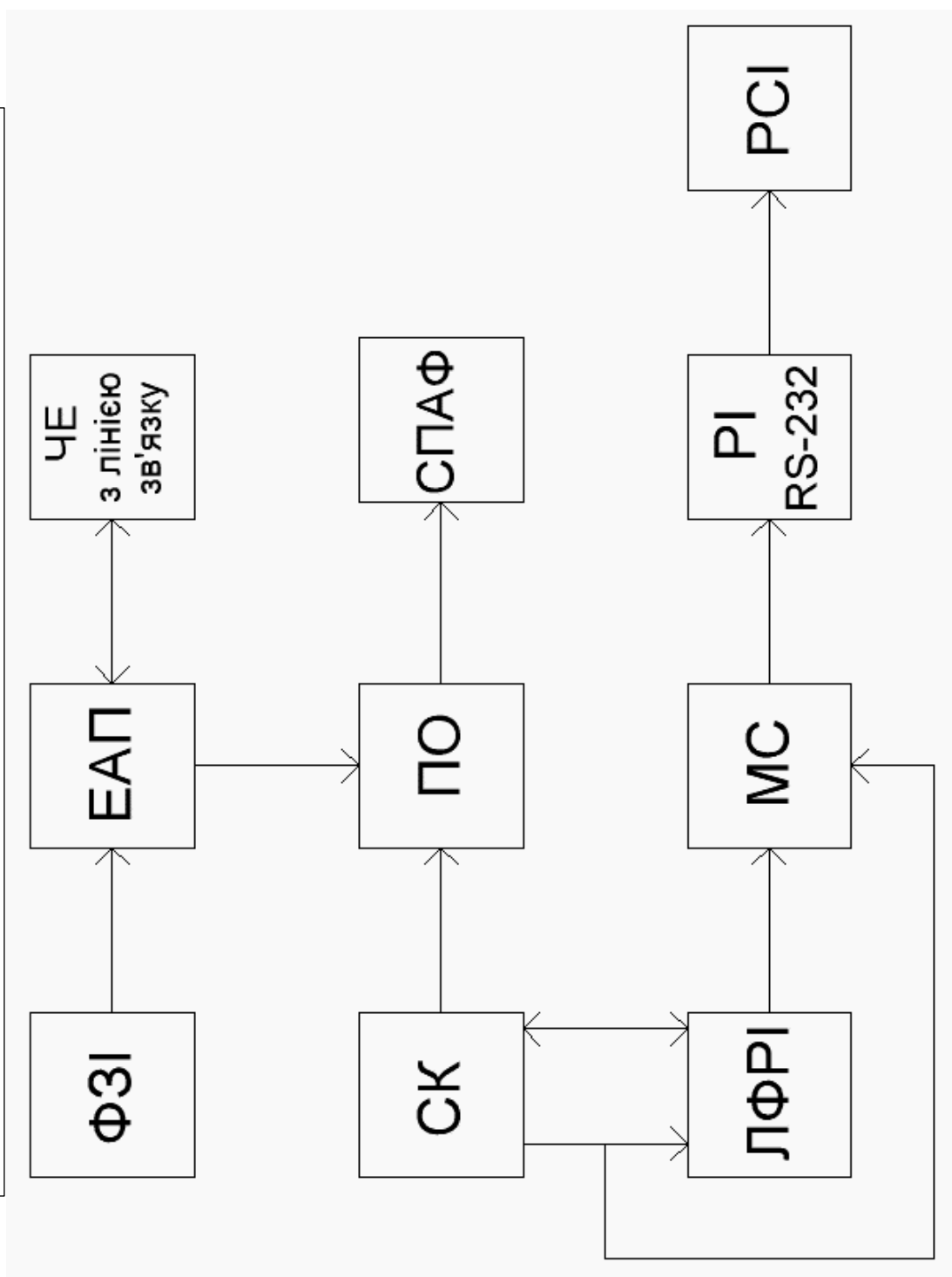
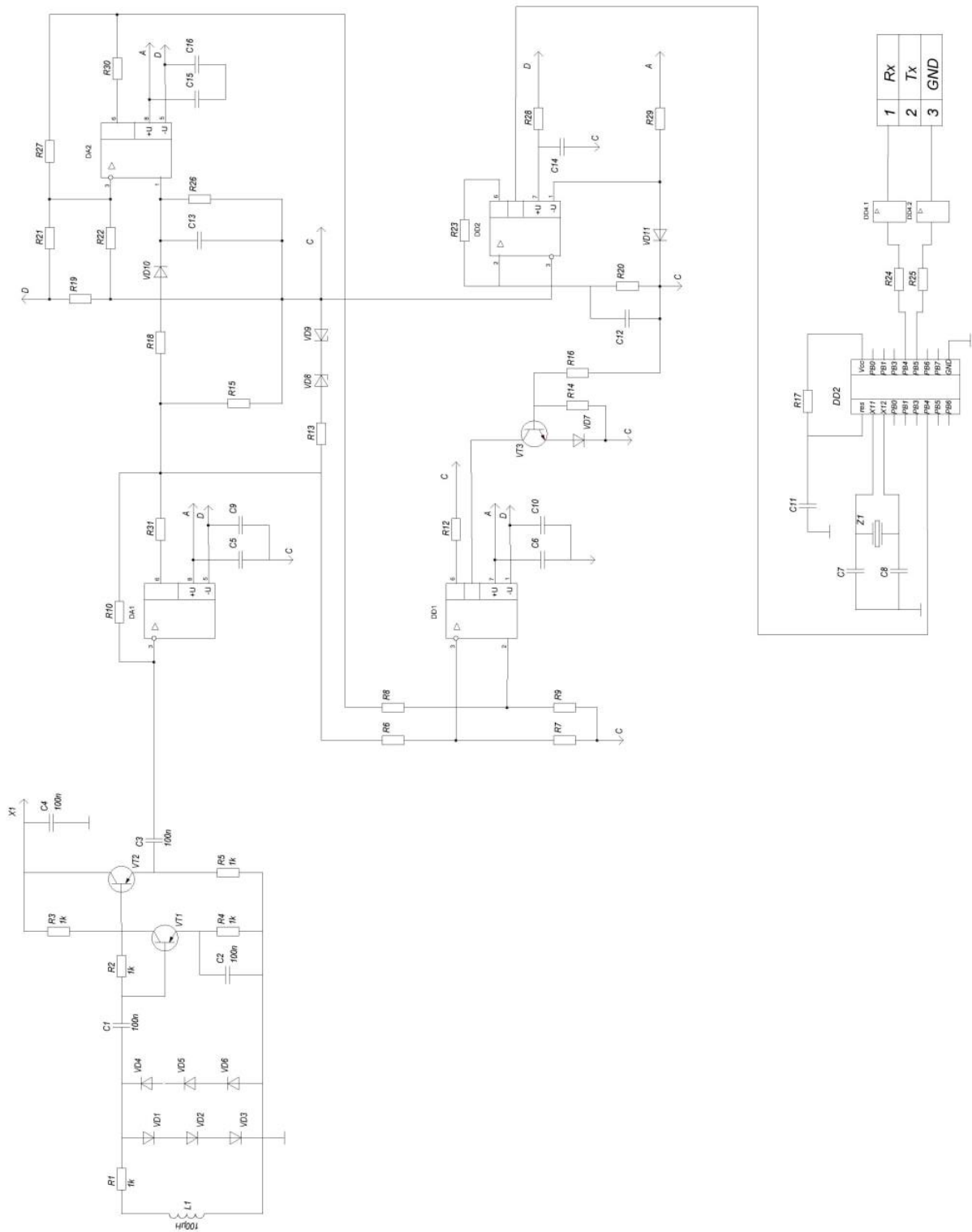


Рисунок 3 - Схема електрична принципова



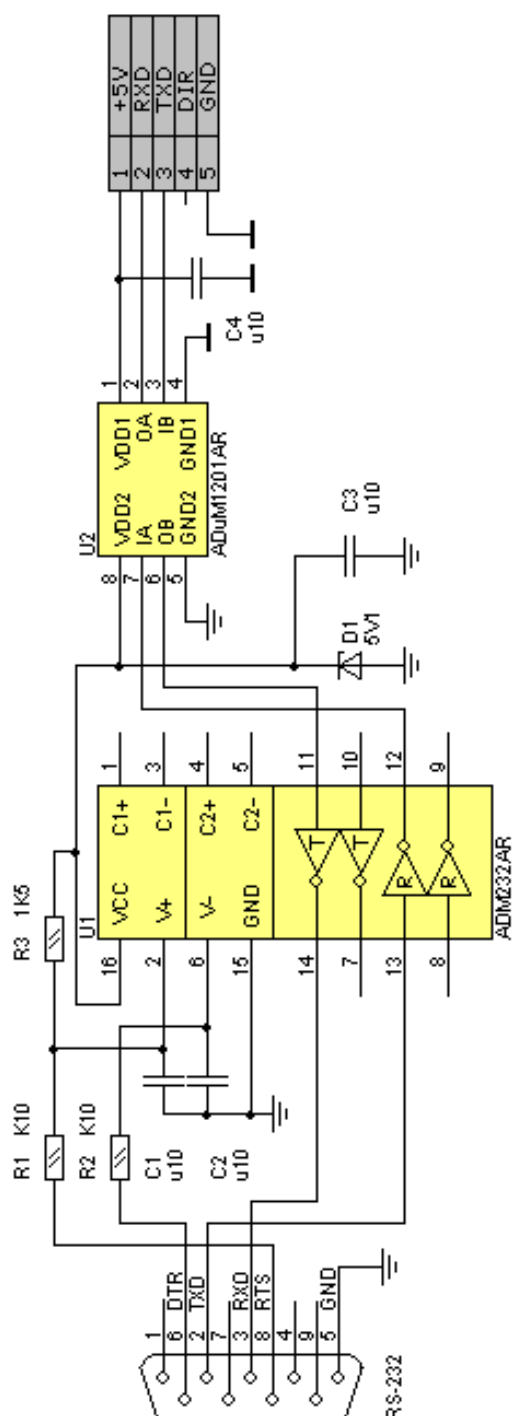


Рисунок 4 - Принципова схема адаптера ізолюваного інтерфейсу RS-232 показано на рисунку. Як перетворювач рівнів використовується мікросхема U1 типу ADM232 або її аналог. Піни 1, 3, 4, 5 залишені вільними, завдяки чому внутрішній перетворювач вимкнено. Живлення мікросхема отримує через захисні резистори R1 та R2 від ліній RTS та DTR інтерфейсу RS-232.

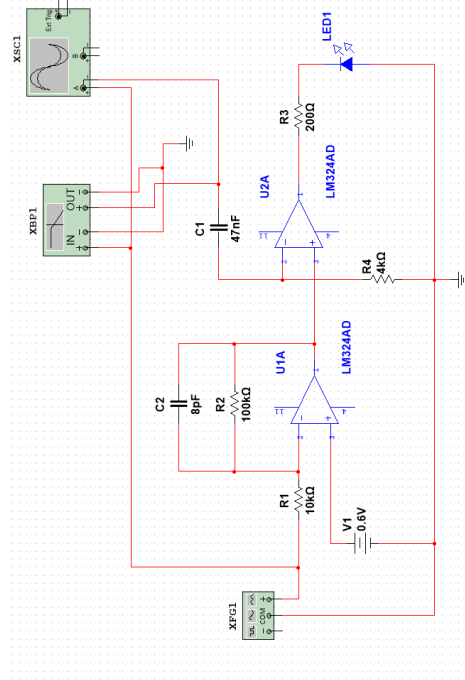


Рисунок 5 - Схема блоку терморегулятора в моделюючому пакеті NI Multisim

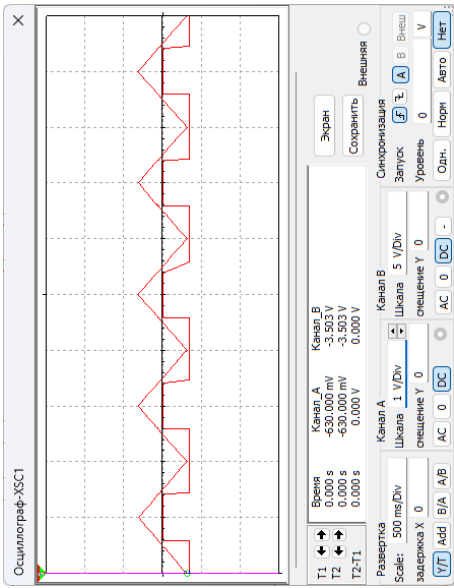


Рисунок 6 - Осцилограма вхідного та вихідного сигналу при опорній напрузі 0,63 В

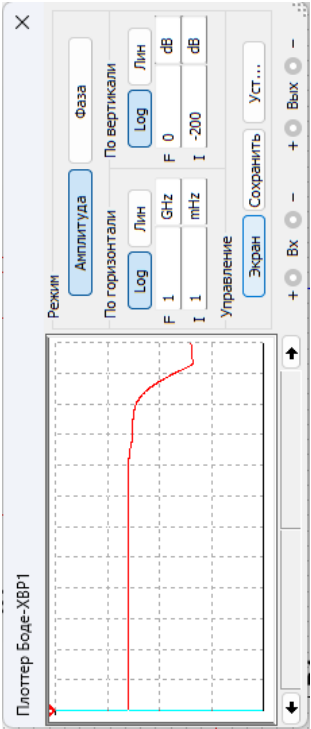


Рисунок 7 - АЧХ пристрою

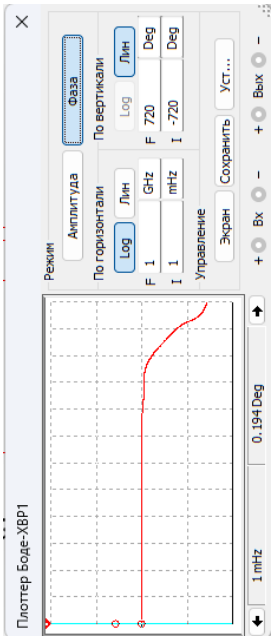


Рисунок 8 - ФЧХ пристрою

Додаток Б
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (БАКАЛАВРСЬКОЇ)
ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ**

**РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВИЙ БАГАТОЗОННИЙ
ТЕРМОМЕТР**

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Радіовимірювальний ультразвуковий багатозонний термометр»

Тип роботи: БДР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність 80,4% Схожість 19,6%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

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

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Олександр ЗВЯГІН
(прізвище, ініціали)

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

Автор роботи


(підпис)

Андрій ПОПЕНКО
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

АНТОН САВИЦЬКИЙ
(прізвище, ініціали)