

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Комп'ютерна система контролю індуктивності та ємності
радіокомпонентів*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-42

спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

Федишин В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Жаровський Р.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Тиш Є.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«25» квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студента Федишин Вероніки Василівни
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів

Керівник роботи кандидат технічних наук, доцент кафедри КС Жаровський Руслан Олегович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » квітня 2026 року № 4/9-188

2. Термін подання студентом завершеної роботи 17.06.2026

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз технічного завдання

2. Проєктна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

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

1. Структурна схема

2. Схема електрична принципова

3. Блок схема роботи

4. Результати роботи системи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>к. т. н., доц. каф. МТ Сенчишин В. С.</i>		

7. Дата видачі завдання 25.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>26.01 – 02.02</i>	
2.	<i>Робота над першим розділом «Аналіз технічного завдання»</i>	<i>03.02 – 15.02</i>	
3.	<i>Робота над другим розділом «Проектна частинв»</i>	<i>20.04 – 25.04</i>	
4.	<i>Робота над третім розділом «Практична частина»</i>	<i>26.04 – 05.05</i>	
5.	<i>Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»</i>	<i>07.05 – 25.05</i>	
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>26.05 – 7.06</i>	
7.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>8.06 – 14.06</i>	
8.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>15.06 – 21.06</i>	
9.	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>24.06</i>	

Студентка

_____ (підпис)

Федишин Вероніка Василівна

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Жаровський Руслан Олегович

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Федишин В.В. Комп'ютерна система контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 – комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: Arduino, конденсатор, індуктивність, LCD дисплей, вимірювання, радіокомпоненти.

У кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютерну систему контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів на базі мікроконтролерної платформи Arduino Nano. Проведено аналіз сучасних методів вимірювання параметрів пасивних радіоелектронних компонентів та виконано огляд існуючих LCR-метрів.

Розроблено структуру системи, електричну принципову схему, програмне забезпечення мікроконтролера та друковані плати модуля керування і вимірювального модуля. Для обробки вимірювального сигналу використано операційний підсилювач MCP6002, а для відображення результатів – рідкокристалічний дисплей LCD1602.

У програмному забезпеченні реалізовано автоматичний вибір одного з дев'яти діапазонів вимірювання, режим калібрування та компенсацію паразитних параметрів вимірювального тракту. Проведені експериментальні дослідження підтвердили працездатність системи та достатню точність вимірювання параметрів дискретних і SMD-компонентів.

ANNOTATION

Fedyshyn V. V. Computer System for Monitoring the Inductance and Capacitance of Radio Components: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 – computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: Arduino, capacitor, inductance, LCD display, measurements, radio components.

In the qualification work, a computer system for monitoring the inductance and capacitance of radio components based on the Arduino Nano microcontroller platform was developed. An analysis of modern methods for measuring the parameters of passive radio electronic components was conducted and a review of existing LCR meters was performed.

The system structure, electrical schematic diagram, microcontroller software, and printed circuit boards of the control module and measurement module were developed. An MCP6002 operational amplifier was used to process the measurement signal, and an LCD1602 liquid crystal display was used to display the results.

The software implemented automatic selection of one of nine measurement ranges, calibration mode, and compensation of parasitic parameters of the measurement path. Experimental studies confirmed the operability of the system and sufficient accuracy of measuring the parameters of discrete and SMD components, processing and remote control capabilities. The obtained results demonstrate significant potential for the system's application in modern urban infrastructures.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1	АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	11
1.1	Аналіз сучасних методів контролю параметрів радіокомпонентів	11
1.2	Особливості вимірювання індуктивності та ємності	15
1.3	Огляд існуючих LCR-метрів та вимірювальних систем	19
1.4	Постановка задачі розроблення комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів	23
РОЗДІЛ 2	ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	25
2.1	Розробка узагальненої структури системи	25
2.2	Обґрунтування вибору апаратного забезпечення	28
2.3	Розробка схеми електричної принципової	32
2.3.1	Вибір та розрахунок елементів вимірювального тракту	36
2.3.2	Розробка системи живлення	39
2.4	Обґрунтування вибору програмного забезпечення	40
РОЗДІЛ 3	ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	42
3.1	Реалізація програмного забезпечення мікроконтролера	42
3.2	Реалізація апаратної частини системи	48
3.3	Експериментальне дослідження	53
3.4	Аналіз результатів вимірювань	59
РОЗДІЛ 4	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	62
4.1	Ергономічні проблеми безпеки життєдіяльності	62

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Федишин В.В.			Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Жаровський Р.				6	
Реценз.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Н. Контр.		Тиш Є.В.					
Затверд.		Осухівська Г.М.					
					Комп'ютерна система контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів		

4.2	Проведення інструктажів з охорони праці.....	64
	ВИСНОВКИ.....	66
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68
	Додаток А Технічне завдання	
	Додаток Б Перелік елементів	

					<i>КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

КС – комп'ютерна система

МК – мікроконтролер

ОП – операційний підсилювач

РКД – рідкокристалічний дисплей

					<i>КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						8
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Сучасна електронна техніка широко використовується в промисловості, телекомунікаціях, системах автоматизації, комп'ютерній техніці та побутовій електроніці. Надійність роботи електронних пристроїв значною мірою залежить від параметрів радіоелектронних компонентів, що входять до їх складу. Одними з найважливіших параметрів пасивних радіокомпонентів є ємність конденсаторів та індуктивність котушок, які визначають характеристики електричних кіл, фільтрів, генераторів, перетворювачів та інших електронних вузлів.

Під час розроблення, налагодження та ремонту електронної апаратури виникає необхідність оперативного контролю параметрів радіокомпонентів. Для вирішення цієї задачі використовуються спеціалізовані вимірювальні прилади – LCR-метри. Проте значна частина сучасних вимірювальних приладів характеризується високою вартістю, складністю конструкції або надлишковою функціональністю, що не завжди є виправданим для навчальних лабораторій, ремонтних майстерень та аматорської практики.

Використання сучасних мікроконтролерів дозволяє реалізувати автоматичний вибір діапазону вимірювання, програмну обробку результатів, калібрування вимірювального тракту та відображення інформації на цифровому дисплеї. Це забезпечує підвищення зручності використання пристрою та розширення його функціональних можливостей без істотного ускладнення апаратної частини.

Актуальність теми полягає у необхідності створення доступної комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів, яка забезпечує достатню точність вимірювання, автоматизацію процесу контролю та можливість використання як у навчальному процесі, так і під час практичної діяльності, пов'язаної з налагодженням і ремонтом електронної апаратури.

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів на базі мікроконтролерної платформи Arduino Nano, яка забезпечує автоматизоване вимірювання параметрів електронних компонентів та відображення результатів користувачеві.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих методів вимірювання індуктивності та ємності радіокомпонентів;
- виконати огляд сучасних вимірювальних приладів і систем контролю параметрів радіокомпонентів;
- розробити структуру комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності;
- обґрунтувати вибір апаратних засобів та розробити електричну принципову схему пристрою;
- розробити програмне забезпечення мікроконтролера для реалізації алгоритмів вимірювання та калібрування;
- виконати проектування друкованих плат і конструктивну реалізацію системи;
- провести експериментальні дослідження працездатності пристрою та оцінити точність вимірювань.

Об'єктом роботи є процес контролю параметрів пасивних радіоелектронних компонентів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів, яка може використовуватися під час навчального процесу, виконання лабораторних робіт, ремонту та налагодження електронної апаратури.

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз сучасних методів контролю параметрів радіокомпонентів

Контроль параметрів радіокомпонентів є важливим етапом розроблення, виробництва, ремонту та технічного обслуговування електронної апаратури. Надійність і стабільність роботи електронних пристроїв значною мірою залежать від відповідності параметрів пасивних та активних компонентів їхнім номінальним значенням. Особливе значення мають вимірювання параметрів пасивних елементів, таких як резистори, конденсатори та котушки індуктивності, оскільки їхні характеристики безпосередньо впливають на частотні, часові та енергетичні параметри електронних схем [2].

Сучасні методи контролю параметрів радіокомпонентів можна поділити на кілька основних груп: прямі вимірювання, мостові методи, резонансні методи, частотні методи та цифрові методи на основі мікроконтролерних систем.

Методи прямого вимірювання базуються на безпосередньому визначенні електричних параметрів компонента за допомогою вимірювальних приладів. Найпростішим прикладом є використання цифрових мультиметрів для визначення опору резисторів або ємності конденсаторів (рис.1.1). Основною перевагою такого підходу є простота реалізації та доступність обладнання. Однак точність вимірювань часто обмежується характеристиками приладу, особливо під час контролю малих значень ємності або індуктивності.

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Федишин В.В.			<i>Аналіз технічного завдання</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Жаровський Р.					11	14
Реценз.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Н. Контр.		Тиш Є.В.						
Затверд.		Осухівська Г.М.						

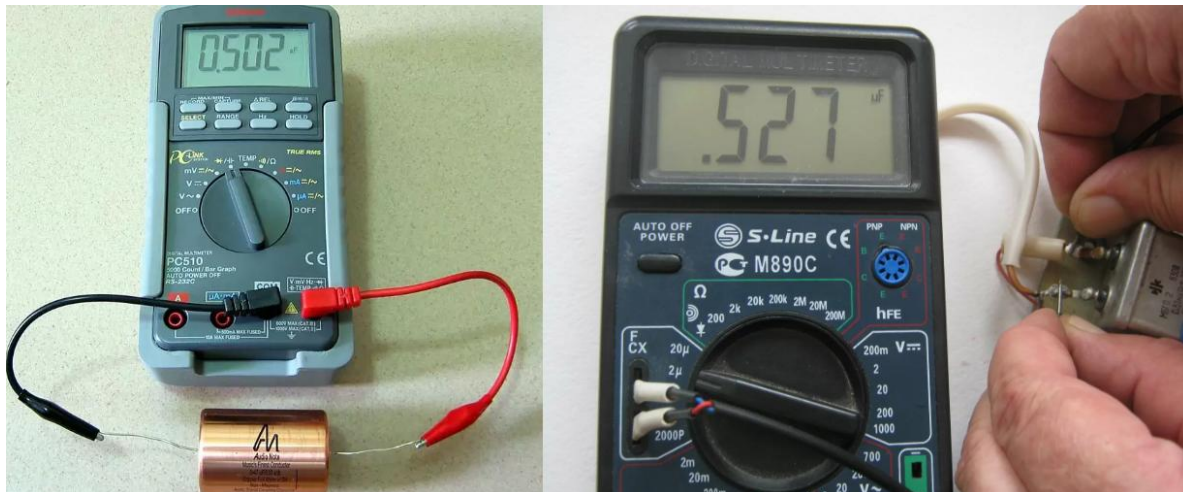


Рисунок 1.1 – Контроль параметрів конденсатора за допомогою цифрового мультиметра

Для більш точного визначення параметрів пасивних елементів широко використовуються мостові методи вимірювання (рис.1.2). Їх принцип роботи ґрунтується на порівнянні невідомого параметра з еталонним елементом у складі вимірювального моста. До найбільш відомих належать міст Уїтстона для вимірювання опору, міст Максвелла для визначення індуктивності та міст Шерінга для вимірювання ємності. Перевагою мостових схем є висока точність та можливість компенсації впливу паразитних параметрів. Разом із тим такі методи потребують складнішого обладнання та ретельного калібрування [3].

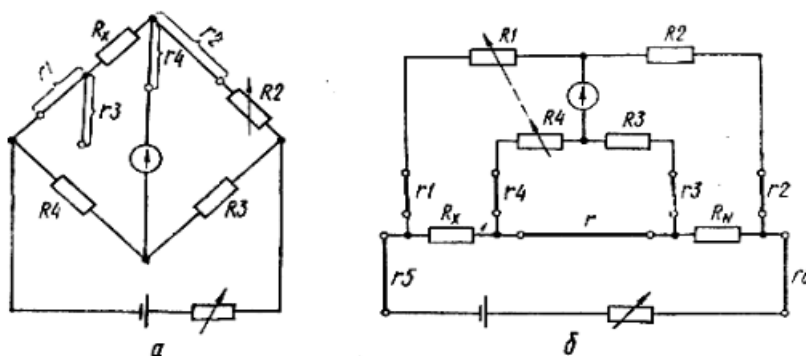


Рисунок 1.2 – Узагальнена структура мостового методу вимірювання опору радіокомпонентів: а) ординарним мостом, б) подвійним мостом

Поширеним способом контролю параметрів реактивних компонентів є резонансний метод. Він базується на використанні коливального контуру, до складу якого входить досліджуваний елемент. Під час досягнення резонансної частоти параметри контуру змінюються таким чином, що стає можливим визначення невідомої ємності або індуктивності. Цей метод забезпечує високу точність при вимірюванні малих значень індуктивності та ємності, тому широко застосовується в радіотехнічній практиці та лабораторних вимірюваннях.

Окрему групу становлять частотні методи вимірювання. У таких системах контрольований компонент включається до складу RC- або LC-генератора, а його параметри визначаються за частотою сформованих коливань. Оскільки частота генерації безпосередньо залежить від значення індуктивності або ємності, вимірювання може виконуватися шляхом підрахунку кількості імпульсів за певний проміжок часу. Частотні методи характеризуються високою завадостійкістю та можливістю цифрової обробки результатів.

З розвитком мікроелектроніки [4] та вбудованих систем значного поширення набули цифрові методи контролю параметрів радіокомпонентів. Їх особливістю є використання мікроконтролерів, аналого-цифрових перетворювачів та програмних алгоритмів обробки вимірювальної інформації (рис.1.3). У таких системах вимірюваний компонент може бути включений до складу RC- або LC-ланцюга, а необхідні параметри визначаються шляхом аналізу часових характеристик, частоти коливань або рівня напруги. Отримані дані обробляються програмно та відображаються на дисплеї або передаються до персонального комп'ютера для подальшого аналізу.

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

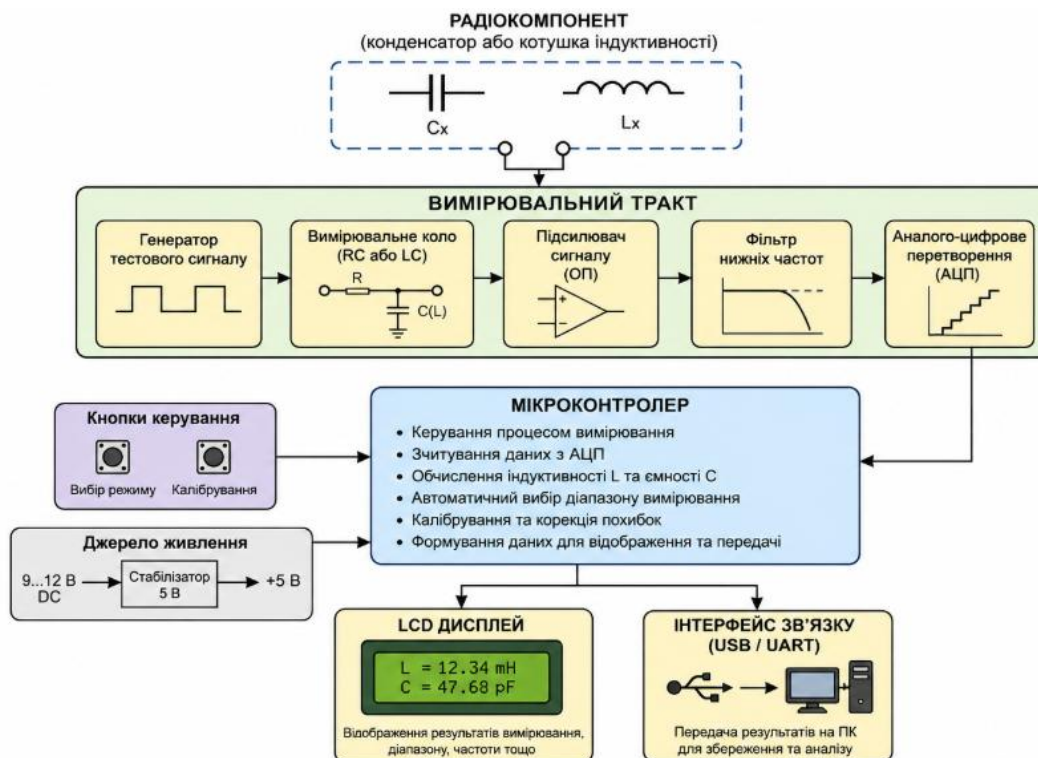


Рисунок 1.3 – Мікроконтролерна система контролю параметрів радіокомпонентів

Одним із найбільш поширених цифрових методів вимірювання ємності є визначення сталої часу RC-ланцюга. У цьому випадку мікроконтролер фіксує час заряджання або розряджання конденсатора до певного рівня напруги. Знаючи опір резистора та вимірний час, програмно обчислюється значення ємності. Такий підхід відрізняється простотою реалізації та не потребує складних аналогових схем.

Для вимірювання індуктивності часто застосовуються методи аналізу коливальних процесів у LC-контурах або визначення параметрів імпульсних процесів у колах із котушками індуктивності. Сучасні мікроконтролери дозволяють реалізовувати такі вимірювання з достатньою точністю навіть без використання спеціалізованих вимірювальних мікросхем.

Важливою тенденцією розвитку засобів контролю радіокомпонентів є поєднання вимірювальних функцій із цифровими технологіями обробки даних. Сучасні вимірювальні системи забезпечують автоматичне перемикавання

діапазонів вимірювання, програмне калібрування, компенсацію паразитних параметрів, збереження результатів та їх передачу до зовнішніх пристроїв. Це дозволяє підвищити точність вимірювань, зменшити вплив людського фактора та спростити процес контролю параметрів електронних компонентів.

Таким чином, аналіз сучасних методів контролю параметрів радіокомпонентів показує, що найбільш перспективними є цифрові методи для створення компактних та недорогих вимірювальних пристроїв на основі мікроконтролерів. Вони поєднують достатню точність вимірювання, простоту апаратної реалізації та широкі можливості програмної обробки результатів, що робить їх доцільними для використання при розробленні комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів.

1.2 Особливості вимірювання індуктивності та ємності

Індуктивність та ємність належать до основних параметрів пасивних радіоелементів, що визначають їх здатність накопичувати та передавати енергію в електричних колах. Точне визначення цих параметрів є необхідною умовою під час розроблення, налаштування та ремонту електронної апаратури. На відміну від вимірювання активного опору, контроль індуктивності та ємності має низку особливостей, пов'язаних із динамічними процесами накопичення енергії в електричних і магнітних полях.

Ємність характеризує здатність конденсатора накопичувати електричний заряд під дією прикладеної напруги. Основною залежністю, що визначає ємність конденсатора, є співвідношення:

$$C = Q/U,$$

де C – ємність конденсатора, Q – накопичений заряд, U – напруга між обкладинками.

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Під час вимірювання ємності найчастіше використовують аналіз процесу заряджання або розряджання конденсатора через відомий опір. При цьому формується RC-ланцюг, часові параметри якого залежать від значення ємності. Основною характеристикою такого кола є стала часу:

$$\tau = R \cdot C.$$

Після закінчення одного інтервалу часу τ напруга на конденсаторі досягає приблизно 63,2% від свого максимального значення (рис.1.4). Саме цей принцип використовується в багатьох мікроконтролерних вимірювачах ємності (рис. 1.5), оскільки дозволяє визначати значення конденсатора без застосування складних аналогових схем.

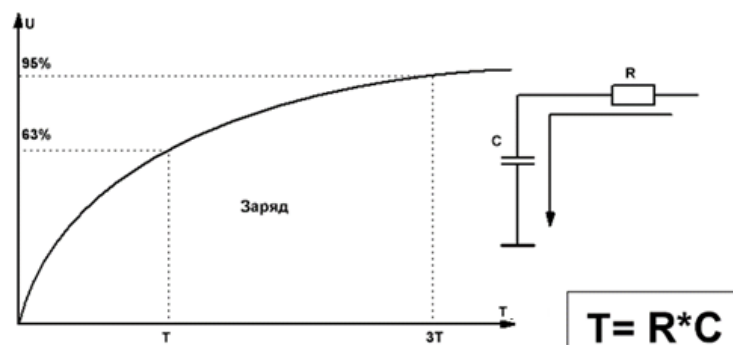


Рисунок 1.4 – Крива заряджання конденсатора в RC-ланцюзі

Процес заряджання конденсатора описується експоненційною залежністю

$$U_C(t) = U_0(1 - e^{-t/RC}),$$

де $U_C(t)$ – миттєве значення напруги на конденсаторі, U_0 – напруга джерела живлення, t – час заряджання.

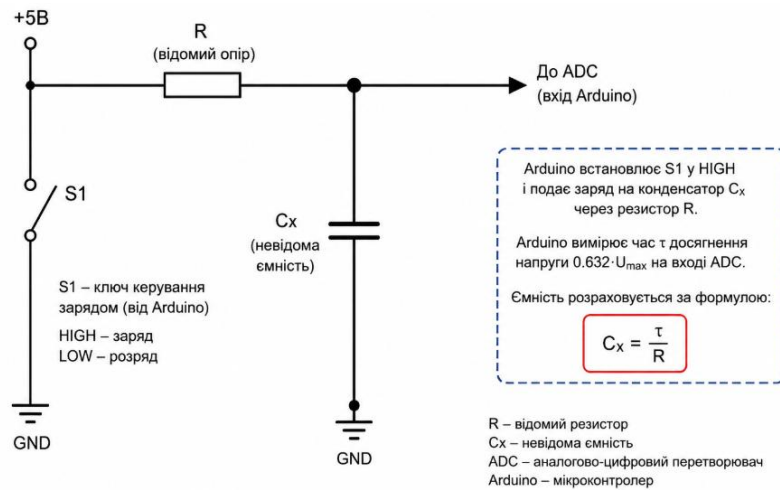


Рисунок 1.5 – Спрощена схема вимірювання ємності методом визначення сталої часу RC-ланцюга

На точність вимірювання ємності впливають паразитна ємність з'єднувальних провідників, температурна нестабільність елементів схеми, похибка аналого-цифрового перетворювача та витік струму через діелектрик конденсатора. Особливо помітний вплив цих факторів під час вимірювання малих ємностей, величина яких може бути співрозмірною з паразитною ємністю монтажу.

Індуктивність характеризує здатність котушки накопичувати енергію магнітного поля під час проходження електричного струму. Основне співвідношення для індуктивності визначається законом електромагнітної індукції:

$$U_L = L \frac{dI}{dt},$$

де L – індуктивність котушки, U_L – напруга самоіндукції, I – струм через котушку.

На практиці вимірювання індуктивності часто здійснюється шляхом аналізу перехідних процесів або параметрів коливального контуру (рис.1.6). У

разі використання LC-контурі індуктивність може бути визначена за резонансною частотою коливань:

$$f = \frac{1}{2 \pi \sqrt{LC}}$$

Знаючи частоту коливань та ємність еталонного конденсатора, можна обчислити значення індуктивності котушки.

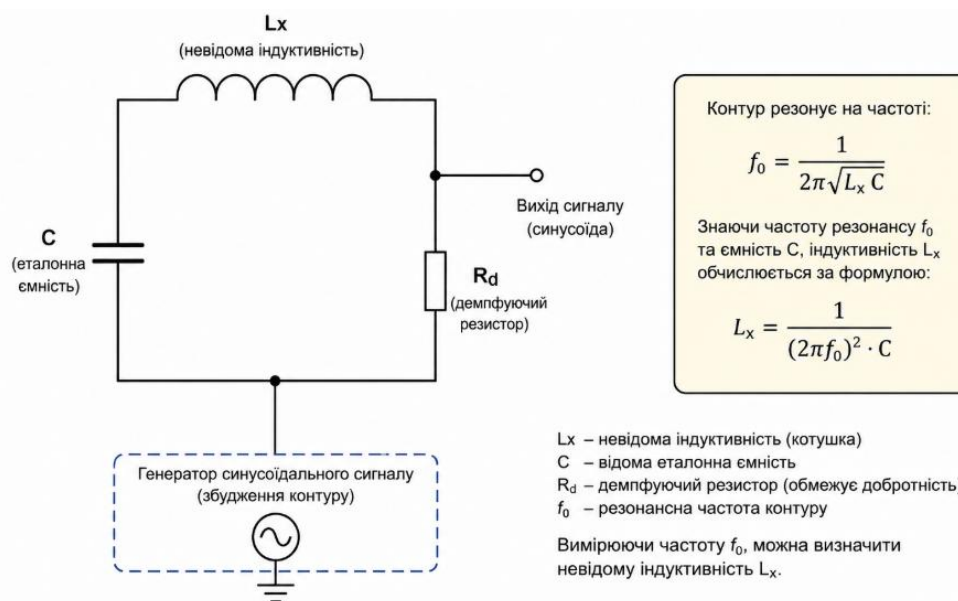


Рисунок 1.6 – Спрощений коливальний контур для вимірювання індуктивності

На відміну від конденсаторів, на результати вимірювання індуктивності значний вплив мають активний опір обмотки, матеріал магнітопроводу, втрати на гістерезис та вихрові струми. Крім того, реальні котушки мають паразитну міжвиткову ємність, яка може викликати спотворення результатів на високих частотах.

Сучасні цифрові вимірювальні системи використовують автоматизовані методи визначення індуктивності та ємності, що базуються на аналізі часових або частотних параметрів електричних сигналів. Використання

мікроконтролерів дозволяє виконувати вимірювання, обчислення та калібрування програмними засобами, що значно спрощує апаратну частину пристрою та підвищує його функціональні можливості.

Для розроблюваної комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів доцільно застосувати метод вимірювання, заснований на аналізі параметрів RC- та LC-ланцюгів із подальшою цифровою обробкою результатів мікроконтролером. Такий підхід забезпечує достатню точність, простоту реалізації та можливість автоматичного вибору діапазону вимірювання, що є важливим для універсального вимірювального пристрою.

1.3 Огляд існуючих LCR-метрів та вимірювальних систем

Найпростішими засобами контролю є цифрові мультиметри, які додатково оснащуються функцією вимірювання ємності конденсаторів. Такі пристрої характеризуються невисокою вартістю та простотою використання. Проте їх функціональні можливості зазвичай обмежуються вимірюванням ємності в широкому діапазоні без можливості визначення індуктивності. Крім того, точність вимірювання малих ємностей часто є недостатньою через вплив паразитних параметрів вимірювальних щупів та внутрішніх кіл приладу (рис 1.7).

Для розширення функціональних можливостей застосовуються портативні LCR-метри, які дозволяють вимірювати опір, індуктивність та ємність. Такі пристрої використовують різні методи вимірювання, зокрема аналіз імпедансу на фіксованій частоті або резонансні методи. Більшість сучасних портативних LCR-метрів забезпечують автоматичний вибір діапазону вимірювання та цифрову індикацію результатів.

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19



Рисунок 1.7 – Цифрові мультиметри з функцією вимірювання ємності

Окрему групу становлять універсальні тестери радіокомпонентів, побудовані на базі мікроконтролерів. Найбільшого поширення набули пристрої сімейства GM328, M328 та їх численні модифікації (рис.1.8). Такі системи здатні автоматично визначати тип підключеного компонента та вимірювати його основні параметри. Окрім індуктивності та ємності, вони можуть виконувати тестування транзисторів, діодів, тиристорів та інших напівпровідникових приладів. Основною перевагою таких тестерів є універсальність та низька вартість, однак точність вимірювань поступається професійним приладам.

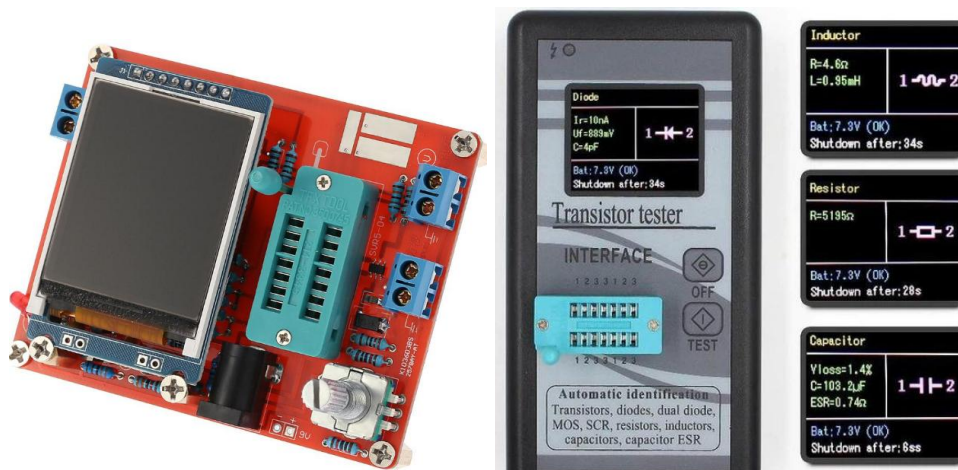


Рисунок 1.8 – Універсальні тестери радіокомпонентів сімейства GM328

Для проведення високоточних вимірювань використовуються професійні лабораторні LCR-метри (рис.1.9). Такі прилади здійснюють вимірювання комплексного опору на різних тестових частотах, що дозволяє

визначати не лише номінальні значення індуктивності та ємності, але й додаткові параметри, зокрема добротність, тангенс кута діелектричних втрат та еквівалентний послідовний опір.



Рисунок 1.9 – Професійні LCR-метри

Висока точність таких пристроїв забезпечується застосуванням спеціалізованих вимірювальних мікросхем, прецизійних еталонних елементів та складних алгоритмів цифрової обробки сигналів. Недоліком професійних LCR-метрів є їх значна вартість, що обмежує можливість використання у навчальних лабораторіях та побутових умовах.

З розвитком мікроконтролерних технологій значного поширення набули вимірювальні системи на базі платформ Arduino. Їхня популярність обумовлена доступністю апаратних компонентів та простотою програмування. У таких системах вимірювання ємності часто реалізується шляхом визначення сталої часу RC-ланцюга, а вимірювання індуктивності — за допомогою аналізу параметрів коливального контуру або частоти генерації. Використання програмних алгоритмів дозволяє автоматизувати процес вимірювання та відображати результати на рідкокристалічних дисплеях.

Подібні рішення є привабливими для навчальних та дослідницьких цілей завдяки простоті реалізації та низькій вартості апаратної частини.

Останніми роками активно розвиваються комп'ютеризовані вимірювальні системи, які поєднують функції вимірювання з можливістю передавання результатів до персонального комп'ютера. Такі системи дозволяють виконувати автоматичне накопичення даних, статистичну обробку результатів та документування вимірювань. Наявність цифрових інтерфейсів забезпечує інтеграцію вимірювального обладнання до автоматизованих систем контролю та виробничих комплексів.

Для порівняння основних характеристик існуючих засобів контролю індуктивності та ємності складено таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика існуючих вимірювальних систем

Тип пристрою	Вимірювання ємності	Вимірювання індуктивності	Автоматизація	Точність
Цифровий мультиметр	Так	Ні або обмежено	Низька	Середня
Портативний LCR-метр	Так	Так	Середня	Висока
Тестер радіокомпонентів	Так	Так	Висока	Середня
Система на Arduino	Так	Так	Висока	Середня
Лабораторний LCR-метр	Так	Так	Висока	Дуже висока

Проведений аналіз показує, що існуючі вимірювальні системи мають різні функціональні можливості та сфери застосування. Простими та

доступними є мультиметри й мікроконтролерні системи, проте вони поступаються професійним приладам за точністю. Лабораторні LCR-метри забезпечують найкращі метрологічні характеристики, однак їх вартість є досить високою. У зв'язку з цим актуальним завданням є розроблення комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів, яка поєднуватиме достатню точність вимірювань, низьку собівартість та можливість автоматизованої обробки результатів.

1.4 Постановка задачі розроблення комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів

Проведений аналіз сучасних методів вимірювання параметрів радіокомпонентів та існуючих вимірювальних систем показав, що більшість доступних рішень характеризуються або обмеженими функціональними можливостями, або високою вартістю. При цьому для навчальних лабораторій, ремонтних майстерень та радіоаматорської практики актуальною залишається потреба у компактному та недорогому пристрої, здатному забезпечувати вимірювання індуктивності та ємності з достатньою точністю.

Метою роботи є розроблення комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів на базі мікроконтролерної платформи, яка забезпечуватиме автоматизоване визначення параметрів пасивних компонентів, обробку результатів вимірювання та їх відображення користувачу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити структурну та електричну схеми комп'ютерної системи контролю;
- обґрунтувати вибір мікроконтролера та елементів вимірювального тракту;

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розробити програмне забезпечення для керування процесом вимірювання та обробки результатів;
- реалізувати інтерфейс відображення результатів вимірювань;
- провести експериментальні дослідження розробленої системи та оцінити її точність.

У результаті виконання роботи повинна бути створена комп'ютерна система, здатна виконувати вимірювання індуктивності та ємності радіокомпонентів у заданому діапазоні значень, забезпечувати автоматичну обробку отриманих даних та відображення результатів вимірювання на екрані. Це дозволить отримати функціональний вимірювальний пристрій з невисокою вартістю реалізації та достатніми метрологічними характеристиками для практичного використання.

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка узагальненої структури системи

Проведений у першому розділі аналіз показав, що існуючі вимірювальні прилади часто характеризуються або високою вартістю, або обмеженими функціональними можливостями. Тому доцільним є розроблення комп'ютерної системи, яка поєднуватиме достатню точність вимірювань, невисоку вартість реалізації та простоту використання.

В основу роботи системи покладено принцип перетворення параметрів досліджуваного компонента у пропорційну електричну величину, яка надалі аналізується мікроконтролером.

Для забезпечення необхідної функціональності система повинна виконувати такі основні функції:

- підключення досліджуваного радіокомпонента;
- вибір режиму вимірювання індуктивності або ємності;
- формування тестового сигналу для вимірювального тракту;
- перетворення параметрів компонента у вимірюваний електричний сигнал;
- оцифрування результатів вимірювання;
- програмну обробку отриманих даних;
- автоматичний вибір діапазону вимірювання;
- калібрування та компенсацію паразитних параметрів;
- відображення результатів на дисплеї.

Враховуючи зазначені вимоги, була розроблена узагальнена структура комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів, наведена на рис. 2.1.

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Федишин В.В.</i>			Проектна частина	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Жаровський Р.</i>					25	17
<i>Реценз.</i>						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Є.В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

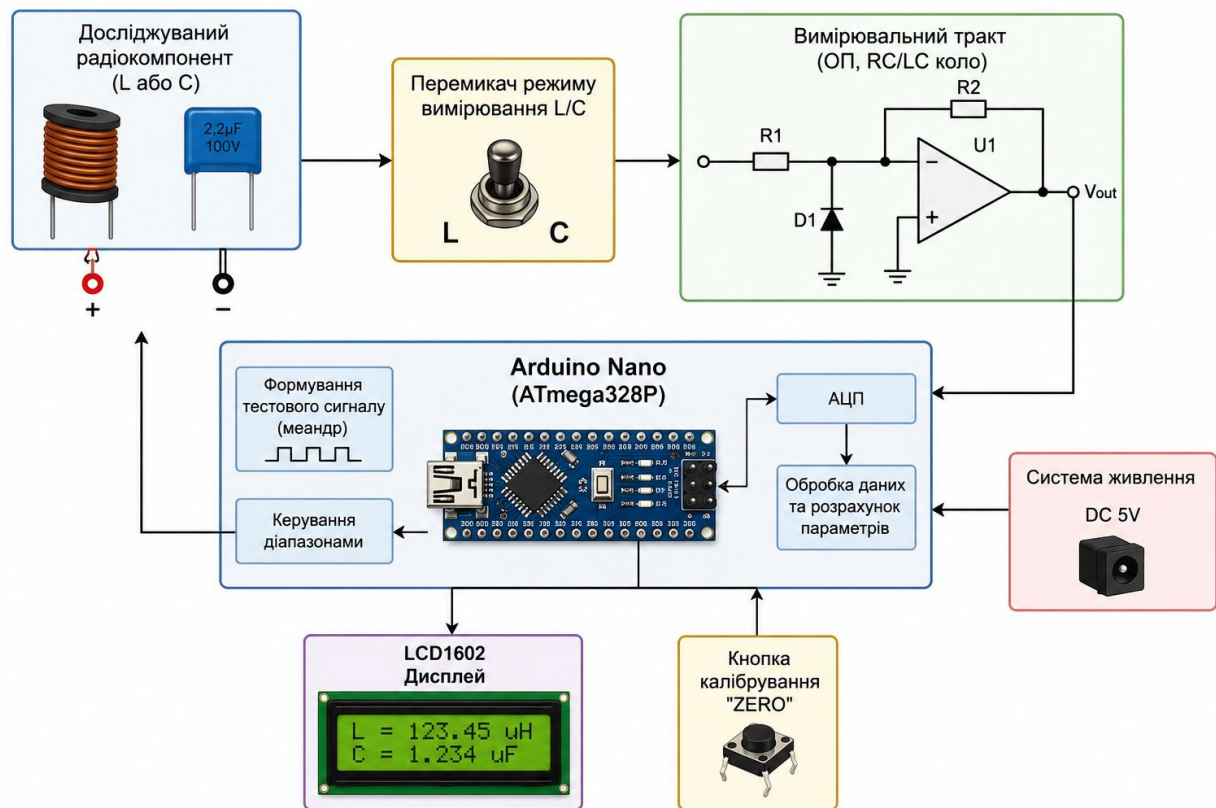


Рисунок 2.1 – Узагальнена структура комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів

Основним елементом системи є мікроконтролерний модуль, який виконує керування процесом вимірювання, формування тестових сигналів, аналого-цифрове перетворення та математичну обробку результатів.

Вхідним елементом системи є вузол підключення досліджуваного компонента. До нього можуть підключатися конденсатори або котушки індуктивності, параметри яких необхідно визначити. Для забезпечення універсальності пристрою передбачено перемикач режиму вимірювання, який дозволяє обирати режим контролю ємності або індуктивності.

Вимірювальний тракт є одним із ключових вузлів системи. Його завдання полягає у формуванні електричного сигналу, параметри якого залежать від значення досліджуваного компонента. Для цього використовуються резистори, діоди та операційний підсилювач. Під час вимірювання ємності аналізується процес заряджання та розряджання

конденсатора, а під час вимірювання індуктивності використовується процес накопичення та вивільнення енергії магнітного поля котушки. На виході вимірювального тракту формується аналогова напруга, пропорційна значенню контрольованого параметра.

Сформований аналоговий сигнал надходить на вхід аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера. Після оцифрування програмне забезпечення виконує розрахунок значення індуктивності або ємності відповідно до вибраного режиму роботи. Для підвищення точності вимірювання використовується автоматичний вибір діапазону, що дозволяє ефективно працювати як із малими, так і з великими значеннями параметрів радіокомпонентів.

Для компенсації власних параметрів вимірювального тракту та зменшення похибки вимірювання передбачено вузол калібрування. Його реалізація здійснюється за допомогою кнопки корекції нуля. Перед початком вимірювань користувач може виконати калібрування системи, що дозволяє компенсувати паразитні ємності, індуктивності та зміщення операційного підсилювача.

Відображення результатів вимірювань здійснюється за допомогою рідкокристалічного індикатора. На дисплей виводиться тип вимірюваного параметра, його числове значення та одиниця вимірювання. Використання дисплея дозволяє забезпечити зручну взаємодію користувача з пристроєм без необхідності підключення додаткового обладнання.

Запропонована структура забезпечує необхідну функціональність комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів, дозволяє реалізувати автоматизований процес вимірювання та створює основу для подальшої розробки електричної принципової схеми й програмного забезпечення системи. Застосування мікроконтролерної обробки результатів забезпечує достатню точність вимірювань при відносно простій апаратній реалізації пристрою.

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення

Вибір апаратного забезпечення є одним із ключових етапів розроблення комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів, оскільки саме від характеристик елементної бази залежать точність вимірювання, швидкодія, надійність роботи та функціональні можливості пристрою. При виборі компонентів враховувалися вимоги до вимірювальної системи, доступність елементів, простота реалізації схеми та можливість програмної обробки результатів вимірювання.

Основу розроблюваної системи становить мікроконтролерна платформа Arduino Nano, побудована на базі мікроконтролера ATmega328P. Дана платформа забезпечує формування керуючих сигналів, обробку аналогових даних від вимірювального модуля, виконання математичних розрахунків та відображення результатів вимірювання. Важливими перевагами Arduino Nano є компактні габарити, низька вартість, наявність великої кількості програмних бібліотек та достатня кількість інтерфейсів введення-виведення для підключення периферійних пристроїв. Схема підключення мікроконтролера наведена на принциповій схемі системи.

Основні характеристики мікроконтролера ATmega328P наведено в табл. 2.1 [5-6].

Наявність вбудованого 10-бітного аналого-цифрового перетворювача дозволяє без використання додаткових мікросхем виконувати оцифрування сигналів вимірювального тракту. Розрядність АЦП забезпечує 1024 рівні квантування, що є достатнім для реалізації вимірювання індуктивності та ємності у заданих діапазонах.

Для реалізації вимірювального тракту використано двоканальний операційний підсилювач MCP6002 [7]. Дана мікросхема забезпечує підсилення та обробку сигналів, що формуються під час вимірювання параметрів досліджуваних компонентів.

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Основні характеристики мікроконтролера АТmega328Р

Параметр	Значення
Архітектура	AVR, 8 біт
Тактова частота	16 МГц
Flash-пам'ять	32 КБ
SRAM	2 КБ
EEPROM	1 КБ
Кількість цифрових входів/виходів	14
Кількість аналогових входів	8
Розрядність АЦП	10 біт
Робоча напруга	5 В
Максимальний споживаний струм	до 30 мА

Використання саме MCP6002 обумовлене можливістю роботи від однополярного джерела живлення 5 В, низьким рівнем шумів та малим споживанням струму. Операційний підсилювач входить до складу вимірювального модуля та використовується для формування сигналу, що надходить на аналого-цифровий перетворювач мікроконтролера.

Основні характеристики MCP6002 наведено в табл/ 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики операційного підсилювача MCP6002

Параметр	Значення
Кількість каналів	2
Напруга живлення	1,8–6 В
Тип виходу	Rail-to-Rail
Смуга пропускання	1 МГц
Швидкість наростання вихідної напруги	0,6 В/мкс
Вхідний струм зміщення	1 пА
Споживаний струм	100 мкА на канал
Робоча температура	від –40 до +125 °С

Важливою перевагою MCP6002 є підтримка режиму Rail-to-Rail, що дозволяє використовувати практично весь діапазон вхідної напруги аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера та підвищити точність вимірювань.

Для захисту вимірювального тракту та формування необхідних режимів роботи в схемі використовуються діоди BAT41 та 1N4148. Діоди BAT41 належать до діодів Шотткі та характеризуються малим прямим падінням напруги, що дозволяє мінімізувати їх вплив на результати вимірювання. Швидкодіючий сигнальний діод 1N4148 використовується для стабілізації режимів роботи вимірювального каскаду та захисту окремих вузлів схеми [11-12].

Основні характеристики діода BAT41 наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Основні характеристики діода BAT41

Параметр	Значення
Тип діода	Шотткі
Максимальний прямий струм	100 мА
Максимальна зворотна напруга	100 В
Пряме падіння напруги	0,25–0,45 В
Час відновлення	менше 5 нс

Для відображення результатів вимірювання використовується символний рідкокристалічний дисплей LCD1602 з інтерфейсом I²C. Застосування такого дисплея забезпечує достатню інформативність при мінімальній кількості задіяних виводів мікроконтролера. На дисплей виводяться значення індуктивності або ємності, обраний режим роботи та службові повідомлення системи.

Основні характеристики LCD1602 наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Основні характеристики LCD1602

Параметр	Значення
Кількість рядків	2
Кількість символів у рядку	16
Напруга живлення	5 В
Тип інтерфейсу	I ² C
Споживаний струм	до 2 мА
Тип підсвічування	LED

Керування режимами роботи системи здійснюється за допомогою двох кнопок. Кнопка MODE використовується для вибору режиму вимірювання, а кнопка Calibration забезпечує виконання процедури калібрування та компенсації паразитних параметрів вимірювального тракту. Такий підхід дозволяє спростити взаємодію користувача з пристроєм та підвищити точність отриманих результатів.

Живлення системи здійснюється від зовнішнього джерела постійної напруги через інтегральний стабілізатор LM7805 [13]. Використання даного стабілізатора дозволяє отримати стабільну напругу живлення 5 В, необхідну для роботи всіх вузлів пристрою. Для захисту від неправильного підключення джерела живлення використовується діод 1N4004, а для зменшення рівня пульсацій та завад застосовуються електролітичні конденсатори ємністю 22 мкФ. Основні характеристики стабілізатора LM7805 наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Основні характеристики стабілізатора LM7805

Параметр	Значення
Номинальна вихідна напруга	5 В
Максимальний вихідний струм	1 А
Мінімальна вхідна напруга	7 В
Максимальна вхідна напруга	35 В
Захист від перегріву	наявний
Захист від короткого замикання	наявний

Таким чином, обране апаратне забезпечення забезпечує реалізацію всіх функцій комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів. Використання мікроконтролера ATmega328P, операційного підсилювача MCP6002, дисплея LCD1602 та стабілізатора LM7805 дозволяє реалізувати вимірювальний пристрій із достатньою точністю, високою надійністю та невисокою вартістю. Обрана елементна база створює основу для подальшої розробки електричної принципової схеми та програмного забезпечення системи.

2.3 Розробка схеми електричної принципової

Розроблена схема складається з двох основних функціональних вузлів: вимірювального модуля та модуля керування на базі мікроконтролера Arduino Nano. Взаємодія зазначених вузлів забезпечує виконання вимірювань параметрів досліджуваних компонентів, обробку отриманих даних та відображення результатів на дисплеї користувача. [14]

Принципова схема вимірювального модуля наведена на рис. 2.2. Основним призначенням даного вузла є формування вимірювального сигналу, обробка інформації від досліджуваного компонента та передавання результатів до мікроконтролера для подальшого аналізу. До складу модуля входять вузол підключення радіокомпонентів, операційний підсилювач, захисні елементи та кола узгодження сигналів.

Підключення досліджуваних компонентів здійснюється через роз'єм J1, до якого підводяться контакти для вимірювання індуктивності та ємності. Конструкція роз'єму дозволяє підключати як котушки індуктивності, так і конденсатори, що забезпечує універсальність пристрою. Для вибору режиму роботи використовуються перемикачі SW1A та SW1B, за допомогою яких формується відповідна конфігурація вимірювального кола залежно від типу досліджуваного елемента [15].

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Центральним елементом вимірювального модуля є двоканальний операційний підсилювач MCP6002. Один із його каналів використовується для підсилення та формування вимірювального сигналу, а другий працює як буферний каскад. Застосування операційного підсилювача дозволяє узгодити параметри вимірювального кола з входами мікроконтролера та забезпечити необхідну чутливість системи. Крім того, підсилювач забезпечує стабільність вимірювань при роботі з малими значеннями ємності та індуктивності.

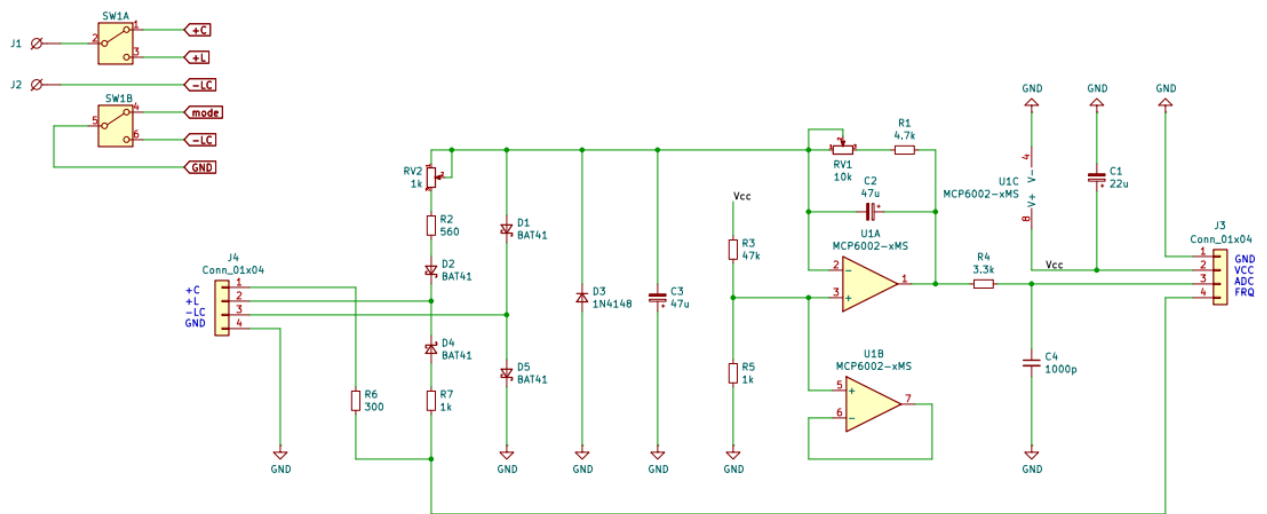


Рисунок 2.2 – Принципова схема вимірювального модуля

Для захисту входів вимірювального тракту від перенапруг та небажаних режимів роботи використано діоди BAT41 та 1N4148. Діоди BAT41 виконують функцію обмеження напруги та захисту чутливих входів операційного підсилювача. Завдяки малому прямому падінню напруги вони практично не впливають на результати вимірювань. Діод 1N4148 забезпечує стабілізацію окремих режимів роботи вимірювального каскаду та підвищує його стійкість до перехідних процесів.

У схемі також використовуються резистори та конденсатори, що формують часові та частотні характеристики вимірювального тракту. За допомогою цих елементів створюються необхідні режими роботи підсилювача, виконується фільтрація сигналів та забезпечується коректне

функціонування вимірювального модуля. Вихідні сигнали модуля формуються на лініях ADC та FRQ, які надалі надходять до мікроконтролера для виконання аналізу та обчислення параметрів досліджуваного компонента.

Модуль керування та індикації наведено на рис. 2.3. Його основу становить плата Arduino Nano, яка виконує функції центрального керувального пристрою системи. До мікроконтролера підключено вимірювальний модуль, дисплей та органи керування, що забезпечує повний цикл вимірювання та відображення результатів.

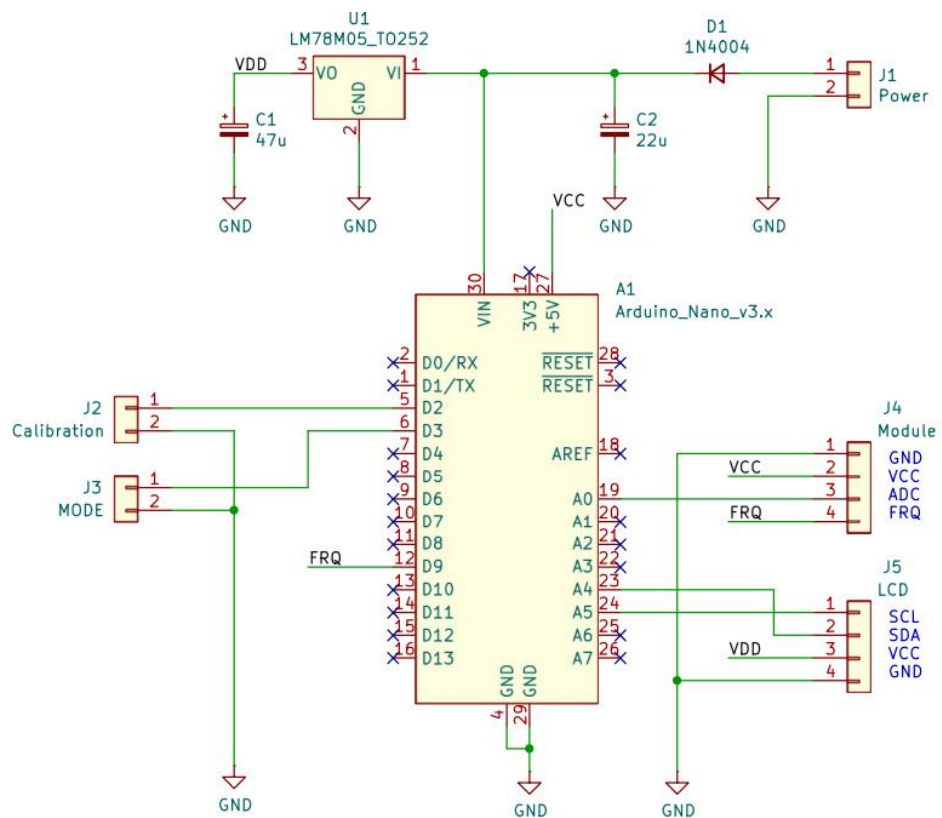


Рисунок 2.3 – Принципова схема модуля керування

Взаємодія між вимірювальним модулем та Arduino Nano здійснюється через інтерфейсний роз'єм J4. Через даний роз'єм передаються сигнали ADC та FRQ, а також напруга живлення та загальний провід. Використання окремого інтерфейсного роз'єму дозволяє реалізувати модульну структуру пристрою та спростити монтаж системи.

Для керування роботою системи передбачено дві кнопки. Кнопка MODE використовується для вибору режиму вимірювання, а кнопка Calibration забезпечує виконання процедури калібрування та компенсації паразитних параметрів вимірювального тракту. Після натискання кнопки калібрування мікроконтролер визначає власні параметри вимірювальної системи та враховує їх під час подальших обчислень.

Відображення результатів вимірювання здійснюється за допомогою символьного рідкокристалічного дисплея LCD1602, підключеного до мікроконтролера через інтерфейс I²C. Такий спосіб підключення дозволяє значно зменшити кількість використовуваних ліній введення-виведення та спростити структуру електричної схеми. На дисплей виводяться результати вимірювання індуктивності або ємності, а також службові повідомлення про режим роботи системи та результати калібрування.

Для живлення пристрою використовується зовнішнє джерело постійної напруги, підключене через роз'єм J1. Захист від помилкового підключення джерела живлення реалізовано за допомогою діода 1N4004. Формування стабільної напруги живлення 5 В здійснюється інтегральним стабілізатором LM7805. Для згладжування пульсацій напруги та підвищення завадостійкості системи використовуються електролітичні конденсатори C1 та C2 ємністю 22 мкФ. Стабільність напруги живлення має важливе значення для забезпечення точності вимірювань та коректної роботи аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера.

Використання модульної структури дозволяє розділити вимірювальну та керувальну частини пристрою, що спрощує налагодження та модернізацію системи. Застосування операційного підсилювача MCP6002, мікроконтролера Arduino Nano та цифрового індикатора LCD1602 забезпечує необхідну точність вимірювання, зручність експлуатації та невисоку вартість реалізації розробленого пристрою.

2.3.1 Вибір та розрахунок елементів вимірювального тракту

Точність вимірювання індуктивності та ємності значною мірою залежить від правильного вибору елементів вимірювального тракту. При розробленні системи особлива увага приділялася забезпеченню стабільності параметрів вимірювального кола, мінімізації впливу шумів та отриманню достатньої чутливості під час роботи з компонентами різних номіналів. Для реалізації вимірювального модуля використано операційний підсилювач МСР6002, резистори з допуском 1 %, конденсатори фільтрації та захисні діоди ВАТ41 і 1N4148.

Основним елементом вимірювального тракту є операційний підсилювач МСР6002. Вибір даної мікросхеми обумовлений можливістю роботи від однополярного джерела живлення 5 В, низьким струмом споживання та підтримкою режиму Rail-to-Rail. При використанні мікроконтролера Arduino Nano з напругою живлення 5 В відсутня необхідність у додаткових джерелах двополярного живлення, що дозволяє суттєво спростити схему пристрою. Крім того, смуга пропускання підсилювача становить 1 МГц, що значно перевищує робочі частоти вимірювального модуля та забезпечує коректну обробку сигналів.

Для формування необхідного режиму роботи операційного підсилювача використовується мережа резисторів. У схемі застосовано резистори номіналом 4,7 кОм, 560 Ом, 47 кОм, 3,3 кОм, 1 кОм, 300 Ом та 1,8 кОм. Значення резисторів були вибрані з урахуванням забезпечення необхідного коефіцієнта підсилення та стабільності роботи вимірювального каскаду.

Коефіцієнт підсилення неінвертуючого каскаду операційного підсилювача визначається виразом

$$K = 1 + R_2/R_1$$

де R_1 – резистор між інвертуючим входом та загальним проводом, а

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

R_2 – резистор зворотного зв'язку.

Для використаних у схемі номіналів:

$$R_1 = 4,7 \text{ кОм}, R_2 = 47 \text{ кОм}.$$

Тоді коефіцієнт підсилення становитиме

$$K = 1 + 47000/4700 = 11.$$

Отримане значення забезпечує достатній рівень сигналу на вході аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера.

Важливим елементом вимірювального тракту є фільтрувальні конденсатори. У схемі використовується конденсатор С3 ємністю 470 нФ, який забезпечує пригнічення високочастотних завад та стабілізацію роботи операційного підсилювача. Для формування частотних характеристик кола використовується конденсатор С4 ємністю 1000 пФ.

Частота зрізу RC-фільтра визначається співвідношенням

$$f = \frac{1}{2\pi RC}.$$

Для резистора $R = 47 \text{ кОм}$ та конденсатора $C = 1000 \text{ пФ}$:

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot 47000 \cdot 10^{-9}} \approx 3386 \text{ Гц}.$$

Отримана частота дозволяє ефективно пригнічувати високочастотні завади, не впливаючи на корисний вимірювальний сигнал.

Для захисту вимірювального модуля від перенапруг застосовано діоди ВАТ41. Основною перевагою діодів Шоттки є низьке пряме падіння напруги,

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

яке становить приблизно 0,3 В. Завдяки цьому захисні елементи практично не вносять додаткової похибки до вимірювань. Використання швидкодіючих діодів також дозволяє ефективно обмежувати імпульсні перенапруги, які можуть виникати під час підключення індуктивних компонентів.

Резистори вимірювального тракту вибрано з допуском не більше $\pm 1\%$. Такий вибір обумовлений необхідністю забезпечення стабільності коефіцієнтів перетворення та зменшення систематичної похибки вимірювань. При використанні резисторів із допуском $\pm 5\%$ похибка вимірювального тракту могла б суттєво зрости, особливо під час вимірювання малих значень індуктивності та ємності.

Оцінювання роздільної здатності вимірювання можна виконати на основі характеристик аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера. Для АЦП із розрядністю 10 біт та опорною напругою 5 В крок квантування становить

$$\Delta U = \frac{5}{1024} \approx 4,88 \text{ мВ.}$$

Таким чином, зміна вимірювального сигналу на величину понад 4,88 мВ може бути зафіксована мікроконтролером та використана для визначення параметрів досліджуваного компонента.

Для зменшення впливу паразитної ємності монтажу та власної індуктивності з'єднувальних провідників у пристрої передбачено режим калібрування. Під час калібрування мікроконтролер визначає паразитні параметри вимірювального тракту та враховує їх у подальших розрахунках. Це дозволяє суттєво підвищити точність вимірювання малих значень індуктивності та ємності.

Таким чином, вибрані елементи вимірювального тракту забезпечують формування стабільного вимірювального сигналу, його коректну обробку та захист від зовнішніх впливів. Проведені розрахунки підтверджують

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

правильність вибору основних параметрів елементів та можливість забезпечення необхідної точності комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів.

2.3.2 Розробка системи живлення

Для забезпечення стабільної роботи комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів необхідно сформувати стабілізовану напругу живлення 5 В для мікроконтролера Arduino Nano, вимірювального модуля та дисплея LCD1602. Схема живлення містить вхідний роз'єм, захисний діод 1N4004, стабілізатор напруги LM7805 та фільтрувальні конденсатори ємністю 22 мкФ.

Захисний діод 1N4004 запобігає пошкодженню пристрою у випадку неправильного підключення джерела живлення. Стабілізатор LM7805 забезпечує підтримання постійної напруги 5 В незалежно від змін вхідної напруги, а конденсатори виконують фільтрацію пульсацій та високочастотних завад.

Для оцінки навантаження визначимо сумарний струм споживання основних вузлів системи.

Таблиця 2.6 – Споживання струму основними вузлами

Вузол	Струм, мА
Arduino Nano	30
MCP6002	0,2
LCD1602	25
Допоміжні кола	5

Сумарний струм споживання становить:

$$I_{Sum} = 30 + 0,2 + 25 + 5 = 60,2 \text{ мА.}$$

Оскільки LM7805 здатний забезпечувати струм до 1 А, його використання забезпечує значний запас по навантаженню.

При використанні джерела живлення напругою 9 В потужність, що розсіюється на стабілізаторі, визначається за формулою:

$$P = (U_{in} - U_{out}) \cdot I = (9 - 5) \cdot 0,0602 = 0,24 \text{ Вт.}$$

Отримане значення є незначним, тому додаткове охолодження стабілізатора не потрібне.

2.4 Обґрунтування вибору програмного забезпечення

Враховуючи використання мікроконтролерної платформи Arduino Nano, програмне забезпечення реалізовано мовою програмування C++ у середовищі Arduino IDE.

Основні програмні засоби, використані під час розроблення системи, наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Програмні засоби розроблення

Програмний засіб	Призначення
Arduino IDE	Розроблення та компіляція програмного коду
C++	Реалізація алгоритмів роботи системи
Wire.h	Робота з інтерфейсом I ² C
LiquidCrystal_I2C.h	Керування LCD-дисплеєм
EEPROM.h	Збереження службових параметрів

Для забезпечення роботи окремих апаратних вузлів використовуються стандартні бібліотеки Arduino. Бібліотека Wire.h забезпечує реалізацію інтерфейсу I²C для обміну даними між мікроконтролером та периферійними

пристроями. Для керування рідкокристалічним дисплеєм використовується бібліотека LiquidCrystal_I2C.h, яка спрощує процес відображення текстової та числової інформації. Для збереження параметрів калібрування та службових даних використовується бібліотека EEPROM.h, що забезпечує доступ до енергонезалежної пам'яті мікроконтролера.

У другому розділі було розроблено структуру комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів. Обґрунтовано вибір основних апаратних компонентів, розроблено електричну принципову схему вимірювального пристрою та виконано вибір елементів вимірювального тракту. Проведено розрахунок параметрів основних вузлів та розроблено систему живлення пристрою. Також обґрунтовано вибір програмного забезпечення для реалізації алгоритмів вимірювання. Отримані результати створюють основу для програмної реалізації системи та проведення експериментальних досліджень.

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Реалізація програмного забезпечення мікроконтролера

Програмне забезпечення мікроконтролера забезпечує реалізацію всіх функцій комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів. До основних завдань програми належать формування тестового сигналу, вимірювання параметрів досліджуваного компонента, автоматичний вибір діапазону вимірювання, виконання калібрування, обробка результатів та їх відображення на дисплеї [15].

Після подачі живлення мікроконтролер виконує ініціалізацію основних апаратних ресурсів системи. На цьому етапі налаштовуються порти введення-виведення, аналого-цифровий перетворювач, дисплей LCD1602 та зчитуються параметри калібрування, що зберігаються у пам'яті EEPROM. Після завершення ініціалізації система переходить до основного циклу роботи (рис.3.1).

Залежно від положення перемикача вибирається режим вимірювання ємності або індуктивності. Після цього здійснюється перевірка стану кнопки калібрування. Якщо користувач активував режим калібрування, запускається відповідна процедура визначення паразитних параметрів вимірювального тракту.

Далі програма встановлює необхідну частоту тестового сигналу відповідно до поточного діапазону вимірювання. Формування сигналу здійснюється за допомогою апаратного таймера Timer1. Після стабілізації режиму роботи вимірювального модуля виконується зчитування сигналу за допомогою аналого-цифрового перетворювача [16].

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Федишин В.В.			Практична частина	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Жаровський Р.					42	20
<i>Реценз.</i>						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
<i>Н. Контр.</i>		Тиш Є.В.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

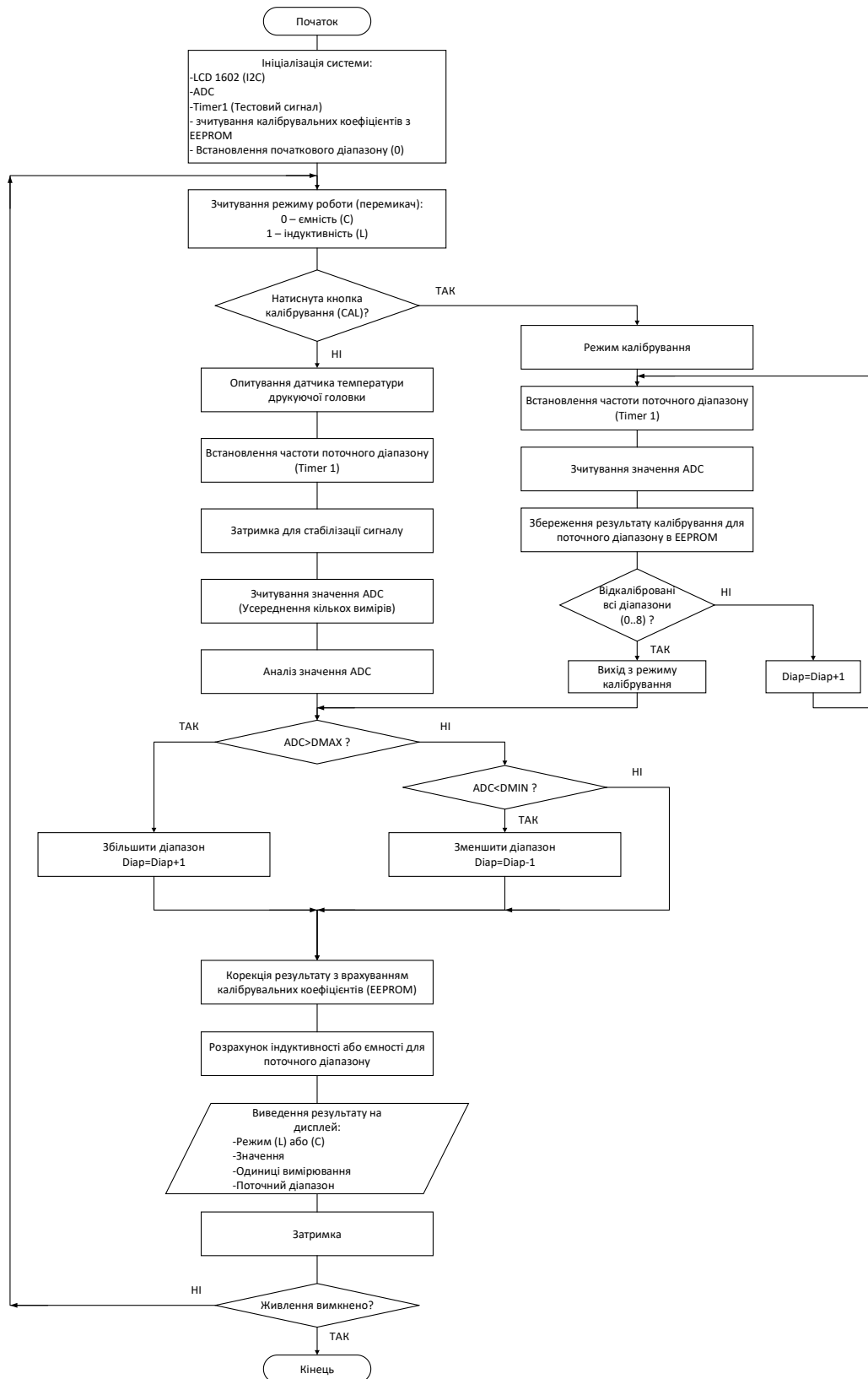


Рисунок 3.1 - Алгоритм роботи програмного забезпечення

Отримане значення аналізується програмою для визначення необхідності зміни діапазону вимірювання. Якщо рівень сигналу перевищує

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ

Арк.

43

верхню межу допустимого діапазону, здійснюється перемикавання на старший діапазон. Якщо значення є меншим за нижню межу, вибирається молодший діапазон. Після зміни діапазону цикл вимірювання повторюється.

У випадку виконання процедури калібрування отримані результати записуються до енергонезалежної пам'яті EEPROM та використовуються для подальшої компенсації паразитних параметрів вимірювального тракту.

Після завершення вимірювання та корекції результатів виконується обчислення значення індуктивності або ємності. Отримані дані перетворюються у відповідні одиниці вимірювання та виводяться на дисплей користувача.

Наприкінці кожного циклу програма перевіряє наявність живлення. Якщо живлення вимкнене, робота системи завершується. За наявності живлення програма повертається до початку основного циклу та продовжує безперервний процес вимірювання параметрів радіокомпонентів.

Реалізація процедури ініціалізації здійснюється у функції `setup()`, фрагмент якої наведено нижче.

```
void setup() {
  ADMUX = 0b01000000;

  ADCSRA = 0b10000111;

  ADCSRA |= (1 << ADSC);

  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(C_BTN, INPUT_PULLUP);
  pinMode(M_SW, INPUT_PULLUP);

  lcd.begin();
  lcd.backlight();
}
```

Після завершення ініціалізації система переходить у режим безперервного вимірювання. Основна логіка роботи реалізована у функції `loop()`, де здійснюється контроль режиму роботи, запуск калібрування, виконання вимірювань та відображення результатів [17].

Для вибору режиму роботи використовується перемикач, підключений до цифрового входу мікроконтролера. Стан перемикача визначається функцією modeSwitch(), яка використовує швидке зчитування стану порту. Перемикання між режимами вимірювання ємності та індуктивності виконується у головному циклі програми.

```
//mode switch condition
bool modeSwitch (uint8_t pin) {
    return fastRead(pin);    //0 - C mode, 1 - L mode
}
```

Для запуску калібрування використовується кнопка, обробка якої реалізована функцією button().

```
//calibration button handler
bool button (const uint8_t pin, uint32_t debounce) {
    static uint32_t prevMillis = 0;
    static bool flag = 0;
```

У функції використовується програмне усунення брязкоту контактів.

```
    if (btnState && !flag && millis() - prevMillis > debounce)
    {
        flag = 1;
        prevMillis = millis();
    }

    if (!btnState && flag && millis() - prevMillis > debounce)
    {
        flag = 0;
        prevMillis = millis();
    }

    return flag;
}
```

Одним із ключових елементів програмної реалізації є функція freqAndRead(), яка формує тестовий сигнал за допомогою таймера Timer1 та виконує зчитування результату аналого-цифрового перетворення. Частота тестового сигналу залежить від поточного діапазону вимірювання.

Налаштування таймера виконується наступним кодом:

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

```

//configure timer1
TCCR1A = 0b01000000; //COM1A0 CTC mode with top on OCR1A
if (diap < 3) {
    TCCR1B = 0b00001001; //WGM12 | CS10 presc = 1
} else {
    TCCR1B = 0b00001100; //WGM12 | CS12 presc = 256

    #if defined CPU_FREQ_8MHZ
        pwr = pwr - 7;
    #elif defined CPU_FREQ_16MHZ
        pwr = pwr - 8;
    #endif
}

```

У програмі реалізовано дев'ять діапазонів вимірювання (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Діапазони вимірювання

№ діапазону	Частота, Гц	Максимальне значення
1	1000000	892
2	250000	3568
3	62500	14272
4	15625	57088
5	3906	228352
6	976	913408
7	244	3653632
8	61	14614528
9	15	58458112

Після кожного циклу вимірювання виконується аналіз отриманого значення АЦП. Якщо результат перевищує верхню межу або є меншим за нижню межу поточного діапазону, відбувається його автоматичне перемикання.

```

if (result > DMAX && diap < NDIAP) {
    ++diap;
    flag = 1;
}

if (result < DMIN && diap) {
    --diap;
    flag = 1;
}

```

Для компенсації паразитних параметрів вимірювального тракту використовується процедура калібрування. Отримані під час калібрування значення зберігаються в енергонезалежній пам'яті EEPROM.

```
if (result < MAX_CALIB)
{
    EEPROM.update(eeAddr, lowByte(result));
}
```

Під час виконання вимірювань збережені дані використовуються для корекції результатів.

```
result = result - EEPROM.read(eeAddr);
result = constrain(result, 0, 1023);
```

Після завершення обробки результатів виконується їх відображення на дисплеї. Для цього використовується функція printResult(), яка виводить тип вимірюваного параметра та його числове значення.

```
void printResult (uint8_t diap, int16_t value, bool mode)
{
    lcd.setCursor(0, 0);

    if (mode == MODE_C)
        lcd.print(F("C"));
    else
        lcd.print(F("L"));

    printResult(diap, result, mode);
}
```

Таким чином, програмне забезпечення реалізує алгоритм роботи пристрою і всі необхідні функції вимірювальної системи, включаючи формування тестового сигналу, автоматичний вибір діапазону, калібрування, обробку результатів та їх відображення користувачу [18]. Використання апаратних можливостей мікроконтролера дозволяє забезпечити стабільну роботу пристрою та достатню точність вимірювання параметрів радіокомпонентів.

3.2 Реалізація апаратної частини системи

Після розроблення електричної принципової схеми було виконано проєктування друкованих плат комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів. Для підвищення зручності монтажу, спрощення налагодження та забезпечення модульності конструкції система реалізована у вигляді двох окремих друкованих плат: модуля керування та вимірювального модуля.

Модуль керування призначений для встановлення мікроконтролерної плати Arduino Nano, підключення дисплея LCD1602, вузла живлення, кнопки калібрування та перемикача режимів роботи. Крім того, на платі передбачено окремий роз'єм для з'єднання з вимірювальним модулем [15].

Топологію друкованої плати модуля керування наведено на рис. 3.2.

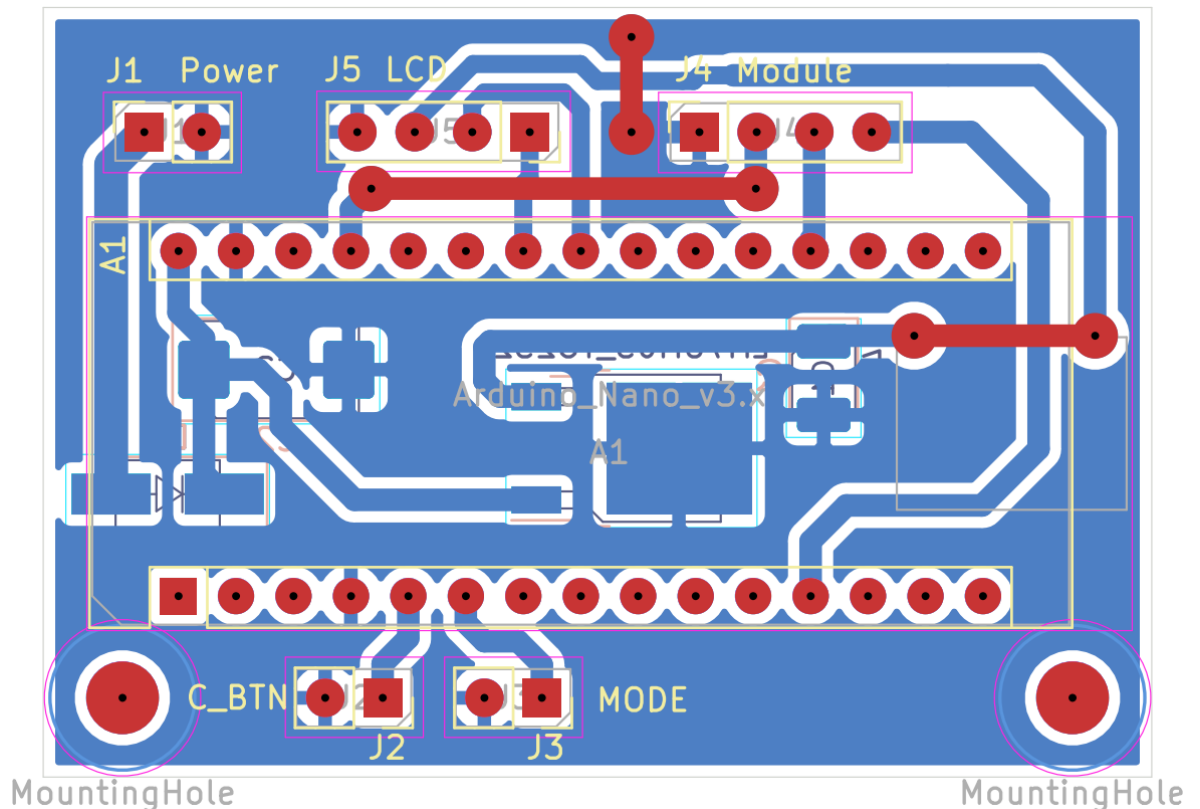


Рисунок 3.2 – Топологія друкованої плати модуля керування

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Плата має компактну прямокутну форму та містить монтажні отвори для подальшого встановлення в корпусі пристрою. Центральну частину плати займає посадкове місце для Arduino Nano, що дозволяє мінімізувати довжину з'єднань між мікроконтролером та зовнішніми вузлами системи.

У верхній частині плати розташовано роз'єм підключення живлення J1, роз'єм дисплея LCD1602 J5 та роз'єм підключення вимірювального модуля J4. У нижній частині розміщені роз'єми кнопки калібрування J2 та перемикача режимів роботи J3. Таке компонування забезпечує зручне підключення всіх зовнішніх елементів та спрощує складання пристрою.

На зворотному боці плати розташовані елементи системи живлення, зокрема стабілізатор напруги, захисний діод та фільтрувальні конденсатори. Розміщення цих компонентів дозволило відокремити силову частину від сигнальних ланцюгів та зменшити вплив перешкод на роботу вимірювального тракту.

Тривимірну модель модуля керування наведено на рис. 3.3 та рис. 3.4.

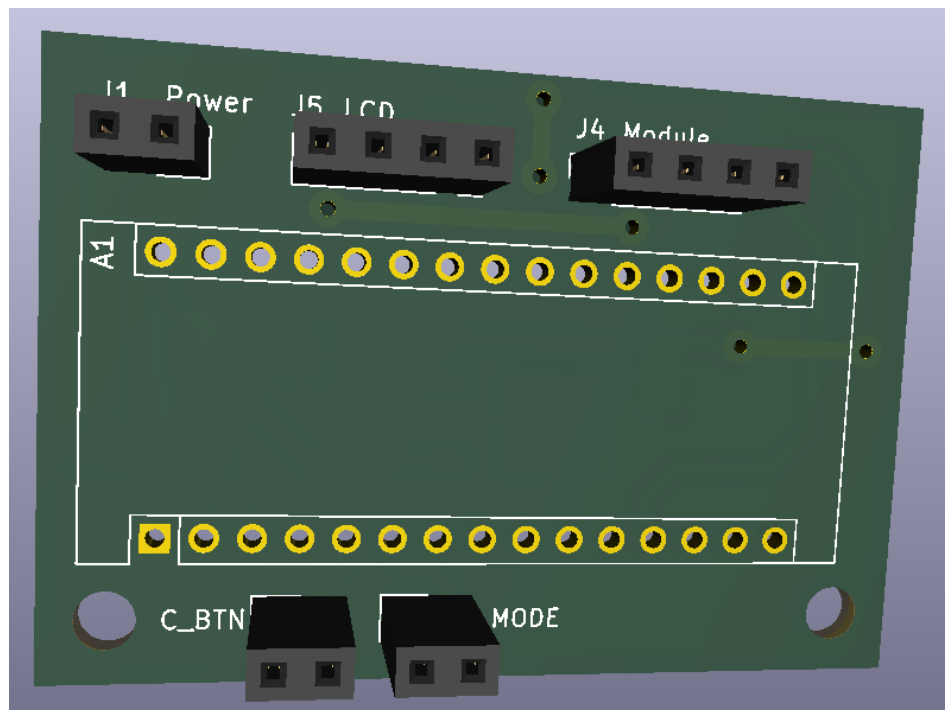


Рисунок 3.3 – Тривимірна модель модуля керування (вигляд зверху)

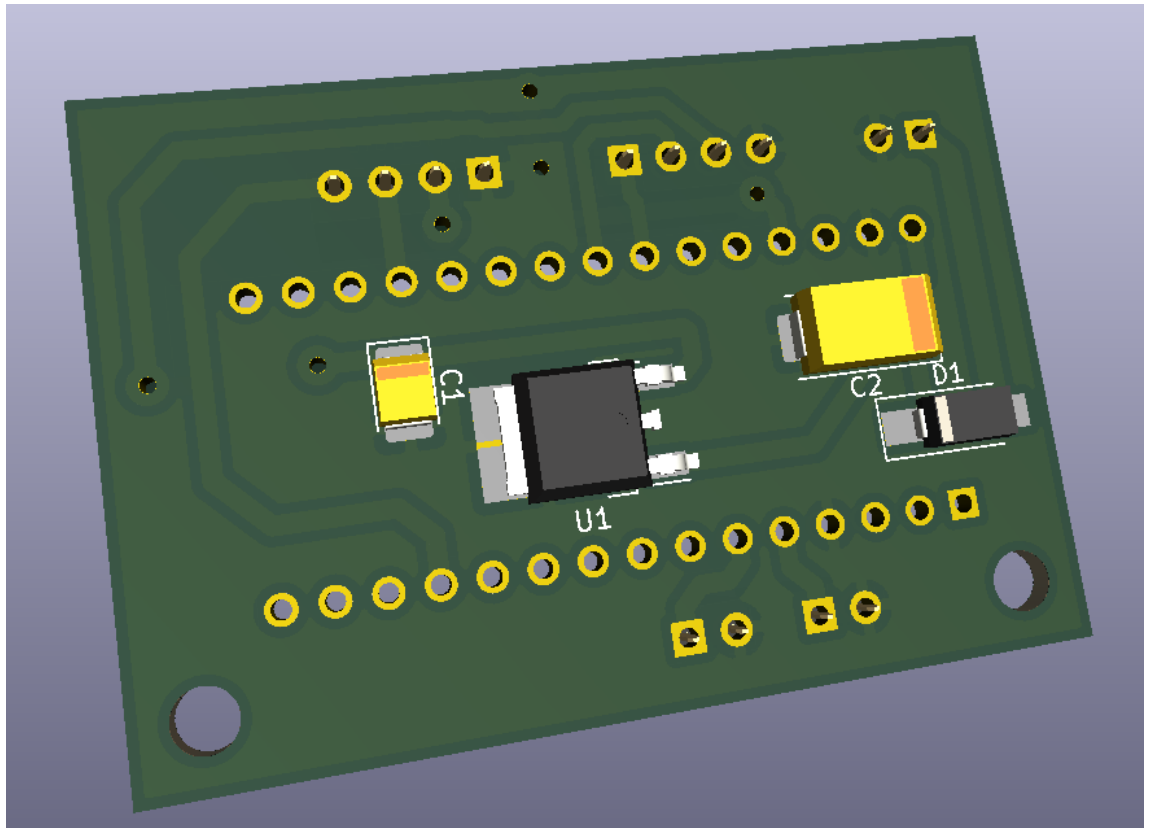


Рисунок 3.4 – Тривимірний модель модуля керування (вигляд знизу)

Для реалізації вимірювального тракту було розроблено окремий вимірювальний модуль. Таке конструктивне рішення дозволило відокремити аналогову частину пристрою від цифрової, що сприяє зменшенню рівня перешкод та підвищенню точності вимірювань.

Топологію друкованої плати вимірювального модуля наведено на рис. 3.5. На платі розміщено операційний підсилювач МСР6002, підлаштувальні резистори, діоди, резистори та конденсатори, які забезпечують формування вимірювального сигналу та його подальшу обробку.

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

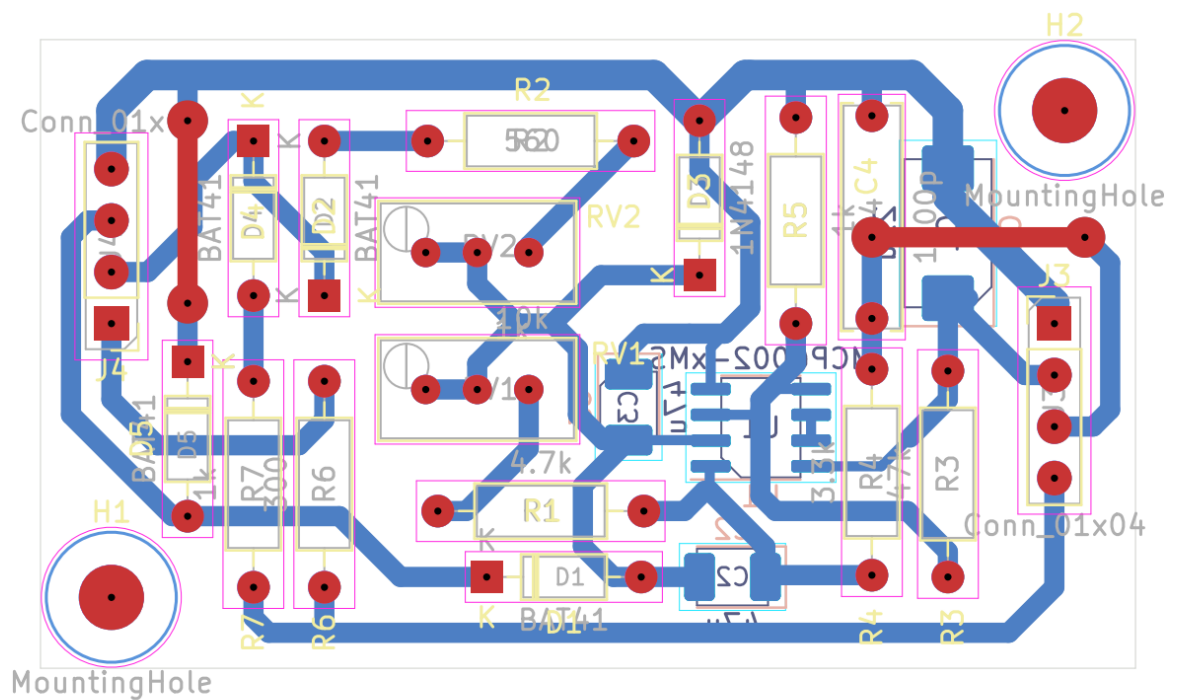


Рисунок 3.5 – Топологія друкованої плати вимірювального модуля

Під час трасування плати особлива увага приділялася скороченню довжини сигнальних доріжок між операційним підсилювачем та елементами вимірювального тракту. Це дозволяє зменшити вплив паразитних параметрів монтажу на результати вимірювань індуктивності та ємності.

Для підключення вимірюваних компонентів передбачено окремі роз'єми, а також роз'єм з'єднання з модулем керування. Крім того, плата містить монтажні отвори для механічного кріплення в корпусі пристрою.

Тривимірні моделі вимірювального модуля наведено на рис. 3.6 та рис. 3.7.

Тривимірне моделювання дозволило перевірити коректність розміщення елементів, оцінити взаємне розташування компонентів та виконати попередній контроль конструкції перед виготовленням друкованих плат.

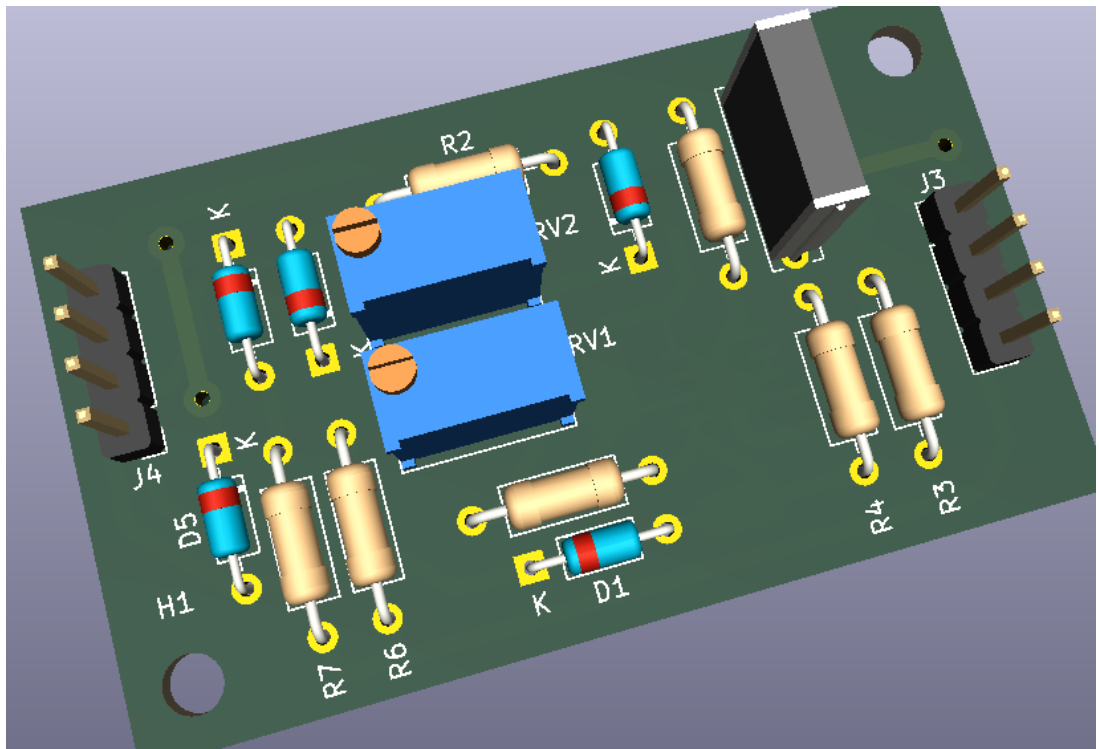


Рисунок 3.6 – Тривимірна модель вимірювального модуля (вигляд зверху)

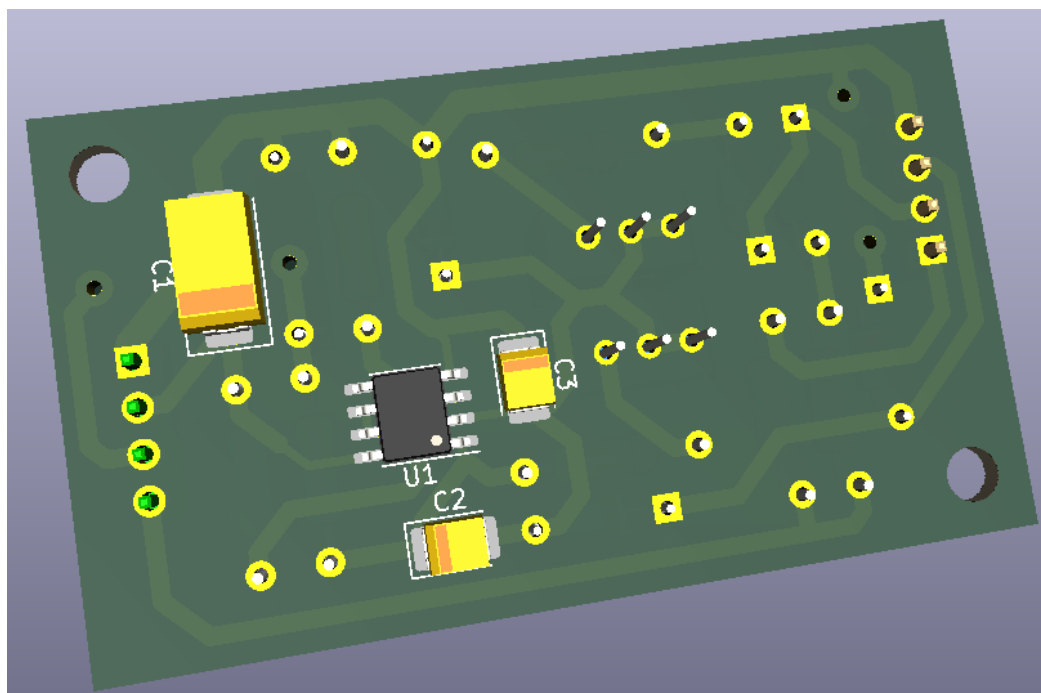


Рисунок 3.7 – Тривимірна модель вимірювального модуля (вигляд знизу)

Таким чином, у результаті проектування було розроблено комплект друкованих плат, який забезпечує реалізацію всіх функціональних вузлів

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів. Використання окремих модулів керування та вимірювання дозволило спростити конструкцію пристрою, підвищити зручність монтажу та зменшити вплив цифрових перешкод на точність вимірювань.

3.3 Експериментальне дослідження

Після завершення розроблення та складання пристрою було проведено експериментальні дослідження комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів. Метою досліджень була перевірка працездатності системи, оцінка точності вимірювання та визначення впливу способу підключення компонентів на результати вимірювань.

Загальний вигляд зібраного пристрою на етапі експериментальних досліджень наведено на рис. 3.8.

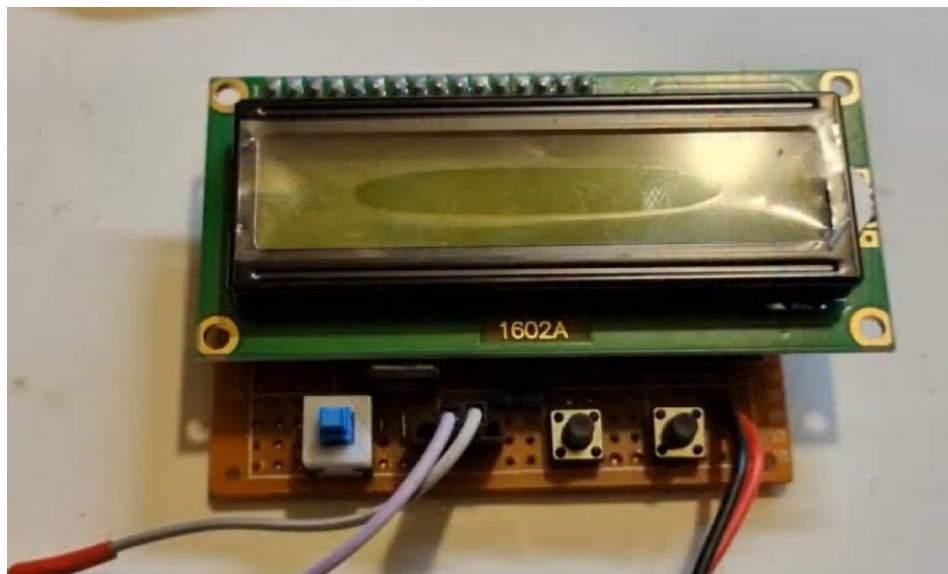


Рисунок 3.8 – Загальний вигляд пристрою на макетній платі

Спочатку було виконано серію вимірювань ємності конденсаторів при підключенні безпосередньо до вимірювальних клем пристрою. Результати вимірювань наведено в таблиці 3.2.

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 – Результати вимірювання ємності конденсаторів

Номинальне значення	Виміряне значення
470 пФ	472 пФ
1800 пФ	1770 пФ
470 нФ	459 нФ
2,2 мкФ	2,37 мкФ
5,1 мкФ	4,6 мкФ
150 мкФ	148 мкФ

Отримані результати свідчать про коректну роботу вимірювальної системи в широкому діапазоні значень ємності.

Для перевірки можливості роботи із зовнішніми щупами було проведено процедуру калібрування нуля. Початок та завершення процедури калібрування наведено на рис. 3.9 та рис. 3.10.



Рисунок 3.9 – Початок калібрування режиму вимірювання ємності



Рисунок 3.10 – Завершення калібрування режиму вимірювання ємності

Після калібрування було виконано вимірювання конденсаторів за допомогою щупів. Результат вимірювання конденсатора номіналом 5,1 пФ наведено на рис. 3.11.



Рисунок 3.11 – Вимірювання ємності конденсатора за допомогою щупів

Пристрій визначив значення ємності на рівні 5,7 пФ. Для конденсатора номіналом 150 пФ було отримано результат 148 пФ при частоті 250 кГц та значенні АЦП=427.



Рисунок 3.12 – Вимірювання конденсатора номіналом 150 пФ

Додатково були проведені вимірювання SMD-конденсаторів. Для конденсаторів невідомого номіналу отримано значення 95,2 пФ та 31,5 пФ. Для SMD-конденсатора номіналом 220 пФ результат вимірювання становив 215 пФ.

Результат вимірювання SMD-конденсатора номіналом 100 нФ наведено на рис. 3.13.



Рисунок 3.13 – Вимірювання SMD-конденсатора номіналом 100 нФ

У результаті вимірювання отримано значення 108 нФ при частоті 250 Гц та значенні АЦП 283.

Після завершення дослідження режиму вимірювання ємності було проведено випробування системи у режимі вимірювання індуктивності. Перед початком вимірювань виконано процедуру калібрування нуля при замкнутих контактах щупів.

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

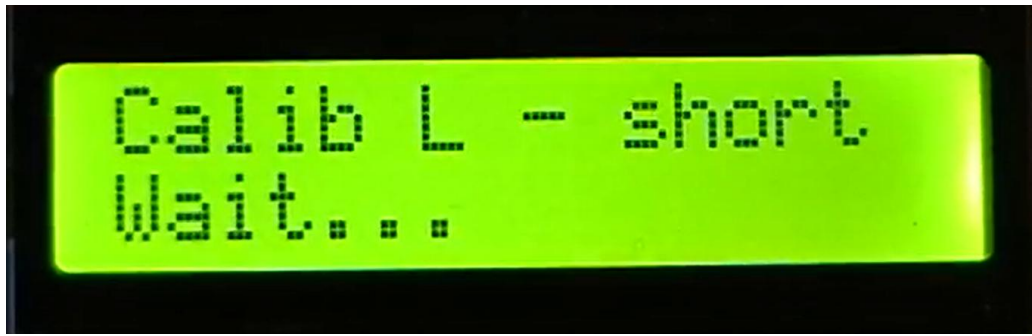


Рисунок 3.14 – Початок калібрування режиму вимірювання індуктивності

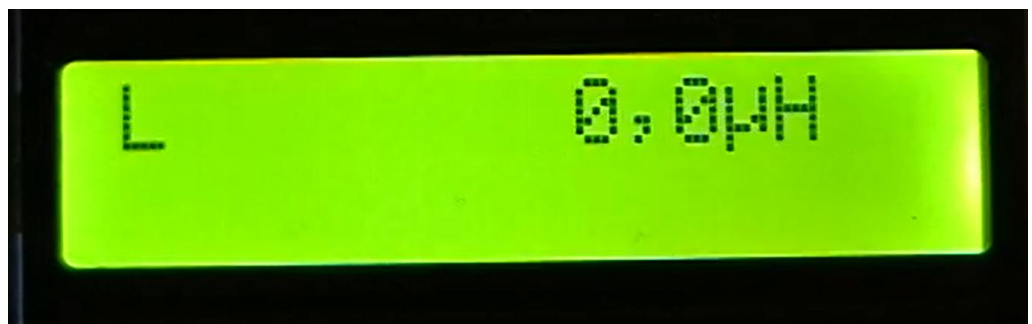


Рисунок 3.15 – Завершення калібрування режиму вимірювання індуктивності

Після калібрування пристрій відображав значення 0,0 мкГн, що свідчить про успішне виконання процедури компенсації паразитних параметрів.

Для перевірки роботи системи було проведено вимірювання котушки індуктивності номіналом 224 мкГн. Результат вимірювання наведено на рис. 3.16.



Рисунок 3.16 – Вимірювання індуктивності 224 мкГн

У результаті було отримано значення 223 мкГн при частоті 250 Гц та значенні АЦП 603.

Також були проведені вимірювання індуктивностей номіналом 60 мкГн та 10 мкГн. Пристрій визначив значення відповідно 60,0 мкГн та 10,3 мкГн.



Рисунок 3.17 – Вимірювання індуктивностей 60 мкГн та 10 мкГн

Для оцінки впливу довгих з'єднувальних провідників додатково використовувалися вимірювальні щупи довжиною близько 1 м.

Після повторного калібрування були отримані результати 223 мкГн, 62 мкГн та 12,5 мкГн для котушок номіналом 224 мкГн, 60 мкГн та 10 мкГн відповідно.

Додатково проведено вимірювання SMD-дроселя номіналом 22 мкГн. Пристрій визначив його індуктивність як 23,3 мкГн.



Рисунок 3.18 – Вимірювання SMD-дроселя 22 мкГн

Для SMD-дроселя номіналом 470 мкГн було отримано результат 466 мкГн при частоті 62 кГц та значенні АЦП 340.



Рисунок 3.19 – Вимірювання SMD-дроселя номіналом 470 мкГн

Отримані результати підтвердили працездатність розробленої системи та можливість виконання вимірювань як дискретних, так і SMD-компонентів у широкому діапазоні значень індуктивності та ємності.

3.4 Аналіз результатів вимірювань

Після проведення експериментальних досліджень було виконано аналіз результатів вимірювання ємності та індуктивності радіокомпонентів. Оцінювання точності роботи системи здійснювалося шляхом порівняння

номінальних значень компонентів із результатами, отриманими за допомогою розробленого пристрою. Для оцінювання точності використовувалася відносна похибка вимірювання, яка визначається за формулою:

$$\delta = \frac{|X_{\text{вим}} - X_{\text{ном}}|}{X_{\text{ном}}} 100\%$$

де $X_{\text{ном}}$ — номінальне значення параметра компонента, $X_{\text{вим}}$ — результат вимірювання.

Результати аналізу вимірювань ємності наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Аналіз результатів вимірювання ємності

Номінальне значення	Виміряне значення	Відносна похибка, %
470 пФ	472 пФ	0,43
1800 пФ	1770 пФ	1,67
470 нФ	459 нФ	2,34
2,2 мкФ	2,37 мкФ	7,73
5,1 мкФ	4,6 мкФ	9,80
150 мкФ	148 мкФ	1,33

Як видно з таблиці 3.3, найбільша точність досягається під час вимірювання конденсаторів малої та середньої ємності. Для більшості вимірювань відносна похибка не перевищує 3 %. Збільшення похибки під час вимірювання електролітичних конденсаторів великої ємності пояснюється значним технологічним розкидом їх параметрів, еквівалентним послідовним опором та струмами витоку.

Вимірювання конденсаторів за допомогою щупів показали деяке збільшення похибки, що пов'язано з впливом паразитної ємності вимірювальних проводів. Однак використання процедури калібрування

дозволило значною мірою компенсувати цей вплив. Результати аналізу вимірювань індуктивності наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Аналіз результатів вимірювання індуктивності

Номинальне значення	Виміряне значення	Відносна похибка, %
224 мкГн	223 мкГн	0,45
60 мкГн	60,0 мкГн	0
10 мкГн	10,3 мкГн	3,0
22 мкГн	23,3 мкГн	5,9
470 мкГн	466 мкГн	0,85

Аналіз результатів показує, що при вимірюванні індуктивності похибка також залишається невеликою та в більшості випадків не перевищує 3 %. Найбільше відхилення спостерігається під час вимірювання SMD-дроселя номіналом 22 мкГн. Причиною цього можуть бути допуски самого компонента, вплив контактної опору щупів та паразитних параметрів монтажу.

Під час використання вимірювальних щупів довжиною близько одного метра спостерігалось деяке зростання похибки для малих значень індуктивності. Це пояснюється появою додаткової паразитної індуктивності провідників. Проте навіть у цьому випадку результати залишалися придатними для практичного використання.

Загалом результати експериментальних досліджень підтвердили працездатність розробленої комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів. Пристрій забезпечує вимірювання параметрів як дискретних, так і SMD-компонентів у широкому діапазоні значень із достатньою для практичного застосування точністю. Наявність автоматичного вибору діапазону та процедури калібрування дозволяє мінімізувати вплив паразитних параметрів вимірювального тракту та забезпечує стабільність отримуваних результатів.

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Ергономічні проблеми безпеки життєдіяльності

Під час розроблення, налагодження та експлуатації комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів значна частина робіт виконується за комп'ютером та на робочому місці радіоелектроніка. Тому важливими є питання ергономічної організації робочого простору, що безпосередньо впливають на продуктивність праці, точність виконання вимірювань та стан здоров'я працівника.

Робоче місце повинно бути обладнане столом достатньої площі для розміщення персонального комп'ютера, вимірювального обладнання, макетних плат, електронних компонентів та інструментів. Висота робочої поверхні має забезпечувати зручне положення рук під час монтажу та проведення вимірювань. Стілець повинен мати регулювання висоти та підтримку поперекового відділу хребта. Під час роботи необхідно підтримувати правильну поставу, уникати надмірного нахилу тулуба та тривалого перебування в одній позі [19].

Під час розроблення програмного забезпечення користувач тривалий час працює за комп'ютером. Неправильне розташування монітора, клавіатури та маніпулятора «миша» може призвести до швидкої втоми, перенапруження м'язів шії, плечового поясу та погіршення зору. Монітор рекомендується розташовувати на відстані 50–70 см від очей, а його верхній край повинен знаходитися приблизно на рівні очей користувача. Клавіатура та миша повинні бути розміщені таким чином, щоб руки знаходилися у природному положенні без надмірного згинання зап'ясть.

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Федишин В.В.			Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Жаровський Р.					62	4
<i>Консульт.</i>		Сенчишин В.С.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
<i>Н. Контр.</i>		Тиш Є.В.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

Особливістю робіт із розроблення та налагодження електронних пристроїв є необхідність виконання точних монтажних операцій та роботи з дрібними радіоелектронними компонентами. Для забезпечення комфортних умов праці освітленість робочого місця повинна становити не менше 300–500 лк. Доцільним є використання додаткового локального освітлення з можливістю регулювання напрямку світлового потоку. Недостатнє освітлення може призводити до швидкої втоми очей, зниження концентрації уваги та збільшення кількості помилок під час монтажу й вимірювань.

Під час проведення експериментальних досліджень особливу увагу необхідно приділяти розміщенню вимірювальних приладів, з'єднувальних проводів та досліджуваних компонентів. Всі елементи повинні знаходитися в зоні зручного доступу оператора. Безладне розташування проводів може не лише ускладнювати проведення вимірювань, але й підвищувати ризик механічного пошкодження обладнання та помилкового підключення компонентів.

Для зменшення втоми рекомендується через кожні 45–60 хвилин роботи робити короткі перерви тривалістю 5–10 хвилин. Під час таких перерв доцільно виконувати вправи для рук, плечового поясу та очей. Особливо важливо це під час тривалого паяння, монтажу друкованих плат або програмування мікроконтролерів, коли працівник змушений тривалий час концентрувати увагу на дрібних об'єктах.

Важливим фактором забезпечення комфортних умов праці є підтримання належних параметрів мікроклімату приміщення. Температура повітря повинна знаходитися в межах 18–24 °С, відносна вологість – 40–60 %, а швидкість руху повітря не повинна перевищувати встановлених нормативних значень. Підвищена температура або недостатня вентиляція негативно впливають на самопочуття працівника та можуть знижувати точність виконання робіт [20].

Під час роботи з електронними компонентами доцільно використовувати антистатичні килимки та браслети, які забезпечують захист чутливих

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електронних елементів від електростатичних розрядів. Такі засоби не лише підвищують надійність електронних вузлів, але й сприяють впорядкуванню робочого місця.

Таким чином, правильна організація робочого місця під час розроблення та використання комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів забезпечує комфортні умови праці, підвищує точність виконання вимірювань, знижує втому оператора та сприяє збереженню його здоров'я і працездатності.

4.2 Проведення інструктажів з охорони праці

Під час виконання робіт із розроблення, монтажу, налагодження та експлуатації комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів працівники повинні проходити інструктажі з охорони праці відповідно до вимог чинного законодавства України.

Метою проведення інструктажів є ознайомлення працівників із безпечними методами роботи під час використання електронного обладнання, вимірювальних приладів, джерел живлення та персональних комп'ютерів [21].

Вступний інструктаж проводиться з усіма працівниками та студентами перед початком виконання робіт. Під час інструктажу розглядаються загальні вимоги охорони праці, правила пожежної безпеки, порядок дій у разі виникнення аварійних ситуацій та правила надання домедичної допомоги.

Первинний інструктаж проводиться безпосередньо на робочому місці перед початком виконання робіт з електронними пристроями. Працівник ознайомлюється з вимогами безпечного користування лабораторним обладнанням, джерелами живлення, вимірювальними приладами та інструментом для монтажу електронних схем.

Особлива увага приділяється правилам безпечної роботи з електричними колами. Перед підключенням або відключенням компонентів необхідно вимикати живлення пристрою. Забороняється виконувати монтажні роботи на

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

платах, що перебувають під напругою. Також необхідно контролювати справність ізоляції проводів та з'єднувальних кабелів.

Повторний інструктаж проводиться періодично з метою поновлення знань працівників щодо безпечних методів виконання робіт. Для лабораторних та дослідницьких робіт такий інструктаж рекомендується проводити не рідше одного разу на шість місяців.

Позаплановий інструктаж проводиться у випадках модернізації обладнання, внесення змін до електричної схеми, зміни технології виконання робіт, а також після виявлення порушень вимог охорони праці.

Цільовий інструктаж проводиться під час виконання разових робіт, пов'язаних із випробуванням нових вузлів пристрою, проведенням експериментальних досліджень або виконанням робіт підвищеної небезпеки.

Після проведення інструктажів здійснюється перевірка засвоєння вимог охорони праці шляхом усного опитування або перевірки практичних навичок безпечної роботи. Результати проведення інструктажів реєструються у відповідних журналах установленого зразка.

Таким чином, своєчасне проведення інструктажів з охорони праці є необхідною умовою безпечного виконання робіт під час розроблення та експлуатації комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів, сприяє запобіганню виробничому травматизму та забезпечує безпечні умови праці.

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було розроблено комп'ютерну систему контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів на базі мікроконтролерної платформи Arduino Nano. Основні результати роботи полягають у такому:

1) Проведено аналіз сучасних методів вимірювання індуктивності та ємності, а також існуючих LCR-метрів і вимірювальних систем. Встановлено доцільність використання мікроконтролерного підходу для створення компактного та недорогого вимірювального пристрою.

2) Розроблено структуру комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності, що включає модуль керування на базі Arduino Nano, вимірювальний модуль на основі операційного підсилювача MCP6002, систему живлення та модуль відображення результатів на дисплеї LCD1602.

3) Розроблено електричну принципову схему пристрою та виконано розрахунок елементів вимірювального тракту. У програмному забезпеченні реалізовано автоматичний вибір одного з дев'яти діапазонів вимірювання, калібрування нуля та компенсацію паразитних параметрів вимірювальної схеми.

4) Виконано проєктування друкованих плат модуля керування та вимірювального модуля, а також створено їх тривимірні моделі, що підтвердили правильність компоновання елементів і можливість подальшого виготовлення пристрою.

5) Розроблено програмне забезпечення мікроконтролера, яке забезпечує автоматизоване вимірювання параметрів радіокомпонентів, збереження результатів калібрування в пам'яті EEPROM та відображення результатів вимірювань на дисплеї.

6) Проведено експериментальні дослідження розробленої системи. Похибка більшості вимірювань конденсаторів не перевищувала 3 %, а

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

максимальне зафіксоване відхилення для досліджених конденсаторів становило близько 10 %.

7) Під час вимірювання індуктивності отримано результати які підтвердили високу точність роботи системи в широкому діапазоні значень індуктивності.

Отримані результати підтвердили працездатність розробленої комп'ютерної системи та можливість її практичного використання для контролю параметрів звичайних і SMD-радіокомпонентів під час налагодження, ремонту та розроблення електронних пристроїв.

					<i>КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						67
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.
2. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів : навчальний посібник. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 150 с.
3. Horowitz P., Hill W. The Art of Electronics. 3rd ed. Cambridge : Cambridge University Press, 2015. 1220 p.
4. Sedra A.S., Smith K.C. Microelectronic Circuits. 8th ed. New York : Oxford University Press, 2020. 1426 p.
5. Monk S. Programming Arduino: Getting Started with Sketches. 3rd ed. New York : McGraw-Hill Education, 2021. 192 p.
6. ATmega328P Datasheet. URL: <https://www.microchip.com/en-us/product/atmega328p> (дата звернення: 05.06.2026).
7. MCP6002 Operational Amplifier Datasheet. URL: <https://www.microchip.com/en-us/product/MCP6002> (дата звернення: 05.06.2026).
8. Arduino Nano Documentation. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano> (дата звернення: 05.06.2026).
9. Arduino LC Meter. URL: <https://github.com/glebzlat/arduino-lcmeter> (дата звернення: 05.06.2026).
10. Демчан Н.І., Жаровський Р.О. Оцінка ефективності роботи програмно-апаратного комплексу контролю за вирощуванням рослин з урахуванням евапотранспирації. Інформаційні моделі, системи та технології : матеріали XIII наук.-техн. конф. (17–18 грудня 2025 р.). Тернопіль : ТНТУ, 2025. С. 108–110.

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

11. Демчан Н.І., Жаровський Р.О. Методи та програмно-апаратні засоби контролю за вирощуванням рослин з врахуванням евапотранспірації. Актуальні задачі сучасних технологій : матеріали XIV міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів (11–12 грудня 2025 р.). Тернопіль : ТНТУ, 2025. С. 254–255.

12. Жаровський Р., Цірка І. Архітектура системи збору, передачі та зберігання даних водоспоживання у багатоквартирних будинках. Актуальні задачі сучасних технологій : матеріали XIII наук.-техн. конф. Тернопіль : ТНТУ, 2024. С. 45.

13. Ключко Д., Лещин Ю.З., Жаровський Р.О. Комп'ютерна система моніторингу сейсмічної активності земної кори. Інформаційні моделі, системи та технології : матеріали XII наук.-техн. конф. Тернопіль : ТНТУ, 2024. С. 131–132.

14. Марценюк І.В., Паламар А.М., Жаровський Р.О. Комп'ютеризована система виявлення небезпечних концентрацій метану на основі сенсорних мереж. Інформаційні моделі, системи та технології : матеріали XII наук.-техн. конф. Тернопіль : ТНТУ, 2024. С. 494.

15. Свєргун С., Жаровський Р. Тестування програмного забезпечення, побудованого на мікросервісній архітектурі. Інформаційні моделі, системи та технології : матеріали X наук.-техн. конф. Тернопіль : ТНТУ, 2022. С. 92.

16. Свєргун С., Жаровський Р. Тестування програмного продукту, побудованого на мікросервісній архітектурі на основі BDD. Інформаційні моделі, системи та технології : матеріали X наук.-техн. конф. Тернопіль : ТНТУ, 2022. С. 93.

17. Слюз І., Жаровський Р. Критерії ефективності тестування комп'ютерної інформаційної системи. Актуальні задачі сучасних технологій : матеріали XI міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів. Тернопіль : ТНТУ, 2022. С. 174.

18. Слюз І., Жаровський Р. Принципи та основні етапи комплексного тестування комп'ютерної інформаційної системи. Інформаційні моделі,

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

системи та технології : матеріали X наук.-техн. конф. Тернопіль : ТНТУ, 2022.
С. 93.

19. Національний інститут охорони праці України. Методичні рекомендації щодо організації безпечної роботи за комп'ютером. – 2022.

20. ДСТУ EN ISO 6385:2019. Основні принципи ергономіки.

21. НПАОП 0.00-4.12-05 Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. (З останніми змінами, внесеними згідно з Наказом від 29.08.2024 № 22778).

					<i>КС КРБ 123.198.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Додаток А
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“ 2 ” лютого 2026 р.

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ІНДУКТИВНОСТІ ТА ЄМНОСТІ
РАДІОКОМПОНЕНТІВ

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 8 листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ к.т.н., доц. Жаровський Р.О.

“ 2 ” лютого 2026 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студентка групи СІ-42

_____ Федішин В.В.

“ 2 ” лютого 2026 р.

Тернопіль 2026

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютерна система контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.198.00.00

1.2 Виконавець

Студентка групи СІ-42, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Федішин В.В.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету № 4/9-188 від 24.04.2026 р.

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 26.01.2026 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 21.06.2026 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ISO, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи. Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи – наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Комп'ютерна система контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів призначена для:

- вимірювання ємності конденсаторів;
- вимірювання індуктивності котушок та дроселів;
- автоматичного вибору діапазону вимірювання;
- калібрування вимірювального тракту;
- компенсації паразитних параметрів вимірювальної схеми;
- відображення результатів вимірювань на дисплеї;
- контролю параметрів дискретних та SMD-компонентів;
- використання під час налагодження, ремонту та розроблення електронної апаратури.

2.2 Мета створення системи

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення комп'ютерної системи контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів на базі мікроконтролерної платформи Arduino Nano для автоматизованого

вимірювання параметрів електронних компонентів із відображенням результатів на дисплеї.

2.3 Характеристика об'єкту

Розроблювана система призначена для використання у навчальних лабораторіях, сервісних центрах, ремонтних майстернях та радіоаматорській практиці для контролю параметрів пасивних радіокомпонентів.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Система повинна складатися з:

- мікроконтролерного блока керування на базі Arduino Nano;
- вимірювального модуля на базі операційного підсилювача MCP6002;
- вузла підключення досліджуваних компонентів;
- системи калібрування;
- дисплея LCD1602;
- органів керування (кнопка калібрування та перемикач режимів);
- системи живлення.

3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Обмін даними між компонентами системи повинен здійснюватися через цифрові та аналогові інтерфейси мікроконтролера.

Підключення дисплея LCD1602 повинно здійснюватися через інтерфейс І²С.

Зчитування результатів вимірювання повинно виконуватися за допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Для системи передбачаються такі режими роботи:

- режим вимірювання ємності;
- режим вимірювання індуктивності;
- режим калібрування;
- режим автоматичного вибору діапазону вимірювання.

3.1.4 Вимоги по діагностуванню системи

Система повинна забезпечувати:

- індикацію режиму роботи;
- контроль процесу калібрування;
- відображення результатів вимірювання;
- контроль поточного діапазону вимірювання;
- індикацію стану пристрою на дисплеї.

3.1.5 Перспективи розвитку, проектування системи

Дана система може бути розширена завдяки використанню додаткових програмних і апаратних компонентів. Система повинна передбачати можливість:

- підключення додаткових вимірювальних модулів;
- розширення діапазонів вимірювання;
- передачі результатів вимірювання на персональний комп'ютер;
- реалізації додаткових режимів контролю параметрів електронних компонентів.

3.2 Показники призначення

Система повинна забезпечувати:

- вимірювання ємності в діапазоні від одиниць пікофарад до сотень мікрофарад;
- вимірювання індуктивності в діапазоні від одиниць мікрогенрі до сотень мілігенрі;
- автоматичний вибір одного з дев'яти діапазонів вимірювання;
- відображення результатів вимірювання на LCD-дисплеї;
- безперервний режим роботи;
- можливість калібрування перед проведенням вимірювань.

3.2.1 Вимоги до надійності

Система повинна забезпечувати працездатність:

- при тривалій безперервній роботі;
- при короткочасних змінах напруги живлення;
- при зміні температури навколишнього середовища.

Для захисту елементів системи повинні використовуватися:

- захисний діод;
- стабілізатор напруги;
- фільтрувальні конденсатори;
- програмні засоби контролю режимів роботи.

3.3 Вимоги до безпеки

Зовнішні елементи технічних засобів системи, що перебувають під напругою, повинні мати захист від випадкового дотику, а самі технічні засоби мати занулення або захисне заземлення .

Система електроживлення повинна забезпечувати захисне вимикання при перевантаженнях і коротких замиканнях в колах навантаження, а також аварійне ручне вимикання.

Загальні вимоги пожежної безпеки повинні відповідати нормам на побутове електрообладнання. У разі пожежі не мають виділятися отруйні гази

і дим. Після зняття електроживлення має бути доступне застосування будь-яких засобів пожежогасіння.

3.3.1 Вимоги до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і зберігання компонентів системи

Мікроклімат приміщення повинен відповідати ДСН 3.3.6.042-99:

- температура повітря від +10 °С до +35 °С;
- відносна вологість від 30 % до 80 %;
- атмосферний тиск 760 ± 25 мм рт. ст.

Періодичне технічне обслуговування використовуваних технічних засобів має проводитися відповідно до вимог технічної документації, але не рідше ніж один раз на рік.

На підставі результатів тестування технічних засобів повинні проводитися аналіз причин виникнення виявлених дефектів і прийматися заходи по їх ліквідації.

3.4 Вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу

Система не передбачає зберігання або передавання конфіденційної інформації. Захист програмного забезпечення забезпечується засобами мікроконтролерної платформи та фізичним доступом до пристрою.

3.4.1 Вимоги по стандартизації і уніфікації

Система повинна відповідати вимогам ергономіки і зручності користування за умови комплектування високоякісним обладнанням (ЕОМ, монітор і інше обладнання), що має необхідні сертифікати відповідності і безпеки.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 - а) Структурна схема.
 - б) Блок схема роботи комп'ютеризованої системи.
 - в) Схема електрична принципова.
 - д) Результати експериментальних досліджень.

*Примітка: У комплект документації можуть вноситися зміни та доповнення в процесі розробки.

5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання
1	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>26.01 – 02.02</i>
2	<i>Робота над першим розділом «Аналіз технічного завдання»</i>	<i>03.02 – 15.02</i>
3	<i>Робота над другим розділом «Проектна частина»</i>	<i>20.04 – 25.04</i>
4	<i>Робота над третім розділом «Практична частина»</i>	<i>26.04 – 05.05</i>
5	<i>Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»</i>	<i>07.05 – 25.05</i>
6	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>26.05 – 7.06</i>
7	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>8.06 – 14.06</i>
8	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>15.06 – 21.06</i>
9	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>24.06.2026</i>

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Додаток Б
Перелік елементів

Позн.	Найменування	К-ть	Примітка
	<u>Мікроконтролер</u>		
A1	Arduino Nano V3.0	1	
U1	MCP6002-I/P	1	
LCD1	LCD1602 з I ² C адаптером	1	
	<u>Резистори</u>		
RV1	3296W (10 кОм)	1	
RV2	3296W (1 кОм)	1	
R1	МЛТ-0,125 4,7 кОм	1	(+/-5%)
R2	МЛТ-0,125 560 Ом	1	(+/-5%)
R3	МЛТ-0,125 47 кОм	1	(+/-5%)
R4	МЛТ-0,125 3,3 кОм	1	(+/-5%)
R5, R7	МЛТ-0,125 1 кОм	2	(+/-5%)
R6	МЛТ-0,125 300 Ом	1	(+/-5%)
	<u>Конденсатори</u>		
C1-C2	22 mkF 250V 105C (KE0049)	2	
C3	470 mkF 16V 105C (KE0122)	1	
C4	КТ-2 Н70 1000 пФ	1	
	<u>Діоди</u>		
D1-D2, D4-D5	BAT41	4	
D3	1N4148	1	
D6	1N4004	1	
	<u>Роз'єми, перемикачі</u>		
SW1	MTS-102	1	
SW2	SMD 6*6*7 мм (4 pin)	1	
J1, J2	Screw terminal - 2 pins	2	
J3 - J5	Screw terminal - 4 pins	3	
X1	Клеми М-8 100А	1	
U2	L78M05	1	

					КС КРБ 123.198.00.00 ПЕ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Федишин В.В.			Комп'ютерна система контролю індуктивності та ємності радіокомпонентів	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Жаровський Р.					1	1
Реценз.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Н. Контр.		Тиш Є.В.						
Затверд.		Осухівська Г.М.						
					Перелік елементів			