

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет комп'ютерних наук і технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра програмних засобів

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ
ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОМПОНЕНТІВ
SOFTWARE DEVELOPMENT FOR MEASURING THE ELECTRICAL
PARAMETERS OF COMPONENTS

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи КНТ-112

Спеціальності 121 Інженерія програмного

(код і найменування спеціальності)

забезпечення

Освітня програма (спеціалізація)

Інженерія програмного забезпечення

ЛПКАН І.Ю.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ГЛАДКОВА О.М.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ГОЛУБ Т.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет КНТ
Кафедра програмних засобів
Ступінь вищої освіти бакалавр
Спеціальність 121 Інженерія програмного забезпечення
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Інженерія програмного забезпечення
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПЗ, д.т.н, проф.
Сергій СУББОТІН
“ ” 2026 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ЛПКАНА Іллі Юрійовича

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розроблення програмного забезпечення для вимірювання електричних параметрів компонентів. Software Development for Measuring the Electrical Parameters of Components.

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент, ГЛАДКОВА Ольга Миколаївна,
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затвержені наказом закладу вищої освіти від “07” квітня 2026 року № 139

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 10 червня 2026 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) рекомендована література, технічне завдання

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Теоретичні основи вимірювання електричних параметрів компонентів. 2. Аналіз методів вимірювання електричних параметрів компонентів. 3. Розробка програмно-апаратного пристрою вимірювання електричних параметрів. 4. Програмна реалізація та експериментальне дослідження.

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

Слайди презентації

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-4 Основна частина	ГЛАДКОВА О.М., доцент		
Нормоконтроль	ДЕЙНЕГА Л.Ю., ст.викладач		

7. Дата видачі завдання « 20 » квітня 2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Постановка завдання роботи.	1 тиждень	Завдання, ТЗ
2	Аналіз предметної області.	1 тиждень	Розділ 1
3	Вибір мови програмування та інших технологій розробки.	2 тиждень	Розділ 2
4	Розробка структури апаратної частини та архітектури програми.	2 тиждень	Розділ 3
5	Розробка програми.	3-4 тижні	Розділ 3, 4
6	Тестування та експериментальне дослідження програмного забезпечення.	5 тиждень	Розділ 4
7	Оформлення пояснювальної записки та документів до неї.	6 тиждень	Додатки
8	Нормоконтроль та рецензування.	7 тиждень	
9	Захист роботи.	8 тиждень	

Студент(ка)

_____ Ілля ЛІПКАН
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

_____ Ольга ГЛАДКОВА
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної кваліфікаційної роботи бакалавра: 53 с., 3 табл., 17 рис., 2 дод., 11 джерел.

ARDUINO, ВИМІРЮВАННЯ ЄМНОСТІ, ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ, МІКРОКОНТРОЛЕР, РС-ЛАНЦЮГ, АНАЛОГОВО-ЦИФРОВЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ.

Об'єкт дослідження – процеси розроблення програмного забезпечення для вбудованих вимірювальних систем.

Предмет дослідження – методи та програмні засоби обчислення електричних параметрів компонентів (опору та ємності) у мікроконтролерних системах.

Мета роботи – підвищення точності визначення електричних параметрів компонентів (опору та ємності) шляхом використання алгоритмів усереднення та калібрування у програмному забезпеченні мікроконтролерної системи.

Матеріали, методи та технічні засоби: методи програмної інженерії, мікроконтролерна платформа Arduino, мова програмування C/C++, методи аналого-цифрового перетворення, методи обробки сигналів (усереднення), РС-метод вимірювання ємності, метод подільника напруги для вимірювання опору.

Результати. Розроблено програмно-апаратний комплекс для вимірювання електричних параметрів електронних компонентів, що забезпечує визначення ємності конденсаторів та опору резисторів у межах заданих діапазонів. Реалізовано алгоритми усереднення та калібрування, що підвищують точність вимірювань приблизно на 4 %.

Висновки. У результаті виконання роботи досягнуто підвищення точності вимірювання електричних параметрів компонентів за рахунок

застосування програмних методів обробки даних. Розроблений пристрій може бути використаний як доступний вимірювальний інструмент.

Галузь використання – вбудовані системи, навчальні лабораторії, електроніка, прототипування електронних пристроїв.

ABSTRACT

Explanatory note to the diploma qualifying work of the bachelor: 53 pages, 3 tables, 17 figures, 2 appendixes, 11 sources.

ARDUINO, CAPACITANCE MEASUREMENT, RESISTANCE MEASUREMENT, MICROCONTROLLER, RC CIRCUIT, ANALOG-TO-DIGITAL CONVERSION.

Object of study is the software development processes for embedded measurement systems.

Subject of study is methods and software tools for calculating electrical parameters of electronic components (resistance and capacitance) in microcontroller-based systems.

Purpose of the work is to increase the accuracy of determining electrical parameters (resistance and capacitance) through the use of averaging and calibration algorithms in the software of a microcontroller-based system.

Materials, methods, and tools: software engineering methods, Arduino microcontroller platform, C/C++ programming language, analog-to-digital conversion methods, signal processing methods (averaging), RC method for capacitance measurement, voltage divider method for resistance measurement.

Results. A hardware-software system for measuring electrical parameters of electronic components has been developed. The system allows determining capacitance and resistance within specified ranges. Averaging and calibration algorithms have been implemented to improve measurement accuracy at least 4%.

Conclusions. The accuracy of electrical parameter measurements has been improved through the application of software data processing methods. The developed device can be used as an affordable measurement tool.

Field of application – embedded systems, educational laboratories, electronics, rapid prototyping.

ЗМІСТ

	С.
Перелік скорочень та умовних познач.....	9
Вступ.....	10
1 Теоретичні основи вимірювання електричних параметрів компонентів.....	12
1.1 Основні електричні параметри електронних компонентів.....	12
1.2 Закон Ома та його застосування.....	12
1.3 Ємність конденсатора та принцип її визначення.....	13
1.4 RC-ланцюг та стала часу	13
1.5 Використання мікроконтролерних систем у вимірюваннях	14
1.6 Висновки до розділу 1	15
2 Аналіз методів вимірювання електричних параметрів компонентів.....	16
2.1 Методи вимірювання електричного опору.....	16
2.1.1 Прямий метод вимірювання	16
2.1.2 Метод подільника напруги.....	16
2.1.3 Мостові методи (міст Вітстона)	17
2.2 Методи вимірювання ємності.....	17
2.2.1 RC-метод (метод сталої часу)	18
2.2.2 Частотний метод.....	18
2.2.3 Метод заряд-розряд.....	19
2.3 Порівняльний аналіз методів	20
2.4 Висновки до розділу 2	20
3 Розробка програмно-апаратного пристрою вимірювання електричних параметрів	22
3.1 Загальна структура пристрою.....	22
3.2 Функціональна схема пристрою.....	24
3.3 Алгоритм вимірювання ємності	25
3.4 Алгоритм вимірювання опору	28
3.5 Об'єднання алгоритмів у єдину систему.....	30
3.6 Реалізація додаткових функцій.....	30

3.7 Висновки до розділу 3	31
4 Програмна реалізація та експериментальне дослідження	32
4.1 Програмна реалізація пристрою	32
4.2 Апаратна реалізація пристрою	32
4.3 Методика проведення експерименту	33
4.4 Аналіз похибок вимірювання	36
4.5 Висновки до розділу 4	37
Висновки	39
Перелік джерел посилання	41
Додаток А Текст програми.....	42
Додаток Б Слайди презентації	48

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАК

- IDE – Integrated Development Environment,
RC – Resistor - Capacitor;
АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
ВС – вбудована система;
ВІС – велика інтегральна схема;
МК – мікроконтролер;
ПЗ – програмне забезпечення;
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач.

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку інформаційних технологій та електроніки спостерігається активне впровадження вбудованих систем у різні сфери діяльності людини, зокрема в автоматизацію, вимірювальні системи, робототехніку та навчальні лабораторії. Одним із ключових напрямів є створення доступних програмно-апаратних засобів для вимірювання фізичних параметрів.

Сучасні мікроконтролерні платформи, такі як Arduino, широко застосовуються для створення вимірювальних систем завдяки своїй доступності, простоті програмування та наявності вбудованих аналогово-цифрових перетворювачів [1]. Це дозволяє реалізовувати вимірювання електричних параметрів без використання дорогого спеціалізованого обладнання [2].

Одними з найважливіших параметрів електронних компонентів є опір та ємність, які широко використовуються у різних електронних схемах, зокрема у фільтрах, генераторах сигналів, джерелах живлення та сенсорних системах. Вимірювання цих параметрів є необхідним як у процесі розроблення електронних пристроїв, так і під час їх тестування та обслуговування.

Зокрема, вимірювання ємності може бути реалізоване за допомогою RC-ланцюга, який базується на явищі заряджання конденсатора через резистор. Відомо, що напруга на конденсаторі досягає приблизно 63,2% від максимального значення за час, що дорівнює сталій часу RC-ланцюга, яка визначається як добуток опору та ємності [3].

Ця властивість дозволяє визначити невідому ємність шляхом вимірювання часу заряджання конденсатора.

У свою чергу, вимірювання опору може бути реалізоване за допомогою подільника напруги, який дозволяє визначити значення невідомого резистора на основі вимірюваної напруги та відомого еталонного

опору. Такий підхід є простим у реалізації та широко застосовується у мікроконтролерних системах.

Незважаючи на простоту описаних методів, існують проблеми, пов'язані з точністю вимірювань, що обумовлені похибками аналогово-цифрового перетворення, нестабільністю напруги живлення та впливом шумів. Тому актуальним є завдання розроблення програмних методів обробки даних, які дозволяють підвищити точність вимірювань, зокрема за рахунок усереднення результатів та калібрування системи.

Таким чином, розроблення програмно-апаратного пристрою для вимірювання електричних параметрів компонентів на базі мікроконтролера є актуальним завданням, що має як практичне, так і навчальне значення.

Для досягнення мети треба вирішити наступні завдання:

- провести аналіз теоретичних основ та методів вимірювання електричного опору і ємності конденсаторів;
- обрати методи вимірювання, придатні для реалізації на базі Arduino;
- розробити структурну та функціональну схеми пристрою вимірювання електричних параметрів компонентів;
- розробити алгоритми вимірювання ємності конденсаторів та електричного опору резисторів;
- реалізувати програмне забезпечення пристрою та впровадити методи підвищення точності вимірювань;
- провести експериментальне дослідження роботи пристрою та оцінити точність отриманих результатів.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОМПОНЕНТІВ

1.1 Основні електричні параметри електронних компонентів

Електронні компоненти є основою побудови сучасних електронних пристроїв та систем. До основних параметрів, що характеризують їх роботу, належать опір, ємність, напруга та струм. Дані величини визначають електричні процеси в колах і використовуються для аналізу та проектування електронних систем.

Опір характеризує здатність матеріалу протидіяти проходженню електричного струму. Ємність, у свою чергу, визначає здатність елемента накопичувати електричний заряд. Конденсатор реалізує цю властивість шляхом накопичення заряду в електричному полі між двома провідними пластинами, розділеними діелектриком [3].

Напруга визначає різницю потенціалів між двома точками кола, а струм — це впорядкований рух електричних зарядів. Взаємозв'язок між цими величинами лежить в основі аналізу електричних кіл.

1.2 Закон Ома та його застосування

Одним із базових законів електротехніки є закон Ома, який встановлює залежність між струмом, напругою та опором. Формула виглядає як (1.1):

$$I = \frac{U}{R}, \quad (1.1)$$

де I – сила струму;

U – напруга;

R – опір.

Цей закон широко використовується у вимірювальних системах, зокрема для визначення невідомого опору за допомогою подільника напруги. У такій схемі використовується відомий резистор, через який протікає струм, і вимірюється напруга, що дозволяє обчислити значення невідомого опору.

Метод подільника напруги є одним із найпростіших і найпоширеніших способів вимірювання опору у мікроконтролерних системах, оскільки дозволяє використовувати вбудовані аналого-цифрові перетворювачі.

1.3 Ємність конденсатора та принцип її визначення

Ємність конденсатора визначається як відношення заряду до напруги і залежить від геометричних параметрів та властивостей діелектрика. Для плоского конденсатора вона визначається формулою (1.2):

$$C = \frac{\varepsilon A}{d}, \quad (1.2)$$

де ε – діелектрична проникність,

A – площа пластин,

d – відстань між ними.

У практичних умовах пряме визначення цих параметрів є складним, тому застосовуються непрямі методи вимірювання, зокрема на основі аналізу процесів заряджання та розряджання конденсатора [3].

1.4 RC-ланцюг та стала часу

Одним із ключових елементів вимірювання ємності є RC-ланцюг, який складається з резистора та конденсатора. Основною характеристикою такого кола є стала часу τ .

Стала часу визначає швидкість заряджання та розряджання конденсатора. Вона дорівнює добутку опору та ємності і вимірюється в секундах [4].

При заряджанні конденсатора напруга на ньому досягає приблизно 63,2% від максимального значення за час, рівний одній сталій часу. При розряджанні вона зменшується до 36,8% за той самий проміжок часу [4].

Ця властивість широко використовується у вимірювальних пристроях, оскільки дозволяє визначити ємність, знаючи опір і вимірявши час заряджання C .

Метод RC-ланцюга є простим у реалізації та добре підходить для використання у мікроконтролерних системах, таких як Arduino [5].

1.5 Використання мікроконтролерних систем у вимірюваннях

Сучасні вимірювальні системи активно використовують мікроконтролери, які дозволяють автоматизувати процес збору, обробки та аналізу даних.

Платформа Arduino є однією з найбільш поширених завдяки своїй доступності та простоті використання. Вона оснащена вбудованим аналого-цифровим перетворювачем (АЦП), що дозволяє вимірювати аналогові сигнали у вигляді цифрових значень.

Зокрема, Arduino може [6]:

- вимірювати напругу на аналогових входах;
- визначати час заряджання конденсатора;
- виконувати обчислення параметрів у реальному часі;
- передавати результати через послідовний інтерфейс.

Використання таких платформ дозволяє створювати доступні вимірювальні пристрої з достатньою точністю для навчальних і практичних задач.

1.6 Висновки до розділу 1

У першому розділі було розглянуто теоретичні основи вимірювання електричних параметрів електронних компонентів, зокрема опору та ємності. Проаналізовано базові фізичні величини, що описують електричні процеси в колах, а також встановлено їх взаємозв'язок.

Розглянуто закон Ома як основний інструмент для визначення опору в електричних колах, що дозволяє реалізувати метод вимірювання за допомогою подільника напруги. Досліджено фізичну природу ємності конденсатора та наведено основні підходи до її визначення.

Особливу увагу приділено RC-ланцюгам та їх часовим характеристикам. Встановлено, що стала часу RC-ланцюга може бути використана для визначення ємності конденсатора шляхом вимірювання часу заряджання до рівня 63,2% від максимальної напруги. Це дозволяє реалізувати простий та ефективний метод вимірювання ємності у мікроконтролерних системах.

Також проаналізовано можливості використання мікроконтролерних платформ, зокрема Arduino, для побудови вимірювальних пристроїв. Визначено їх основні переваги, такі як доступність, наявність вбудованих аналого-цифрових перетворювачів та можливість реалізації алгоритмів обробки даних.

Отримані теоретичні результати є основою для подальшого аналізу існуючих методів вимірювання електричних параметрів та розроблення програмно-апаратного пристрою, що буде розглянуто у наступних розділах роботи.

2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОМПОНЕНТІВ

2.1 Методи вимірювання електричного опору

Вимірювання електричного опору є однією з базових задач електроніки та електротехніки. Існує кілька основних методів визначення опору, які відрізняються за точністю, складністю реалізації та сферою застосування.

2.1.1 Прямий метод вимірювання

Прямий метод базується на використанні спеціалізованих приладів — омметрів або мультиметрів, які безпосередньо вимірюють опір компонента. Такі пристрої використовують внутрішнє джерело струму та вимірюють падіння напруги на досліджуваному елементі [7].

Перевагами методу є:

- висока точність;
- простота використання;
- швидкість вимірювання.

Недоліками є необхідність використання окремого вимірювального обладнання та неможливість прямої інтеграції в мікроконтролерні системи.

2.1.2 Метод подільника напруги

Одним із найбільш поширених методів вимірювання опору в мікроконтролерних системах є використання подільника напруги. У даному методі невідомий резистор підключається послідовно з відомим, і вимірюється напруга на одному з них.

Значення невідомого опору визначається за формулою (2.1):

$$R_x = \frac{U_{out} \times R_p}{V_{cc} - U_{out}}, \quad (2.1)$$

де R_x – невідомий опір,

R_p – відомий резистор,

U_{out} – виміряна напруга,

V_{cc} – напруга живлення.

Даний метод широко застосовується у системах на базі мікроконтролерів завдяки своїй простоті та можливості використання вбудованих АЦП [8].

2.1.3 Мостові методи (міст Вітстона)

Більш точним методом вимірювання опору є використання мостових схем, зокрема моста Вітстона. У цьому методі невідомий опір визначається шляхом балансування мостової схеми [9].

Переваги:

- висока точність;
- можливість вимірювання малих змін опору.

Недоліки:

- складність реалізації;
- необхідність точного підбору компонентів.

2.2 Методи вимірювання ємності

Вимірювання ємності конденсаторів є більш складною задачею порівняно з вимірюванням опору, оскільки воно базується не лише на статичних електричних параметрах, а й на аналізі динамічних процесів у електричному колі. На відміну від вимірювання опору, де достатньо визначити співвідношення між струмом і напругою відповідно до закону

Ома, вимірювання ємності потребує дослідження процесів заряджання та розряджання конденсатора в RC-ланцюзі [10].

Принцип вимірювання базується на тому, що конденсатор не може змінювати свою напругу миттєво. Після підключення до джерела живлення через резистор напруга на його обкладках зростає поступово за експоненціальним законом. Швидкість цього процесу визначається сталою часу RC-ланцюга, яка залежить від значень опору та ємності.

2.2.1 RC-метод (метод сталої часу)

Одним із найпростіших і найпоширеніших методів є використання RC-ланцюга. Метод базується на вимірюванні часу заряджання конденсатора через резистор.

Основне співвідношення (стала часу) визначається за формулою (2.2):

$$\tau = R \cdot C, \quad (2.2)$$

де R – опір резистора,

C – ємність конденсатора,

T – стала часу.

Вимірюючи час досягнення напруги 63,2% від максимальної, з формули (2.2) можна визначити ємність C .

Цей метод широко використовується у мікроконтролерних системах завдяки простоті реалізації [3].

2.2.2 Частотний метод

У частотному методі ємність визначається через вплив конденсатора на частоту генератора. Конденсатор включається в RC- або LC-генератор, і вимірюється частота вихідного сигналу.

Ємність визначається за формулою (2.3):

$$f = \frac{1}{2\pi RC}, \quad (2.3)$$

де R – опір резистора,

C – ємність конденсатора,

f – частота (Гц),

π – математична константа приблизно 3.14.

Переваги:

- висока точність;
- можливість автоматизації.

Недоліки:

- складніша реалізація;
- потреба в генераторі сигналів [11].

2.2.3 Метод заряд-розряд

Метод заряд-розряд базується на вимірюванні струму або напруги під час заряджання та розряджання конденсатора. Аналізуючи криву зміни напруги у часі, можна визначити ємність конденсатора, оскільки швидкість зміни напруги залежить від параметрів RC-ланцюга. Під час заряджання напруга на конденсаторі зростає за експоненціальним законом, а під час розряджання — поступово зменшується.

Переваги:

- універсальність;
- можливість аналізу динаміки процесу.

Недоліки:

- складність обробки сигналу;
- необхідність додаткових обчислень.

2.3 Порівняльний аналіз методів

Для вибору оптимального методу вимірювання було проведено порівняння основних характеристик в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняння основних характеристик методів

Метод	Точність	Складність	Вартість	Придатність для Arduino
Подільник напруги	Середня	Низька	Низька	Висока
Міст Вітстона	Висока	Висока	Середня	Низька
РС-метод	Середня	Низька	Низька	Висока
Частотний	Висока	Середня	Середня	Середня

На основі проведеного аналізу було обрано:

- метод подільника напруги для вимірювання опору;
- РС-метод для вимірювання ємності.

Ці методи мають такі переваги:

- простота реалізації;
- низька вартість;
- можливість використання стандартних можливостей мікроконтролера;
- достатня точність для навчальних та практичних задач.

Крім того, обрані методи легко інтегруються у програмне забезпечення мікроконтролерної системи.

2.4 Висновки до розділу 2

У другому розділі було проведено аналіз основних методів вимірювання електричного опору та ємності електронних компонентів.

Розглянуто як прості, так і більш складні методи, включаючи подільник напруги, RC-ланцюги та мостові схеми.

Встановлено, що для реалізації у мікроконтролерних системах найбільш доцільними є метод подільника напруги та RC-метод, які забезпечують оптимальне поєднання простоти реалізації, вартості та точності.

Обрані методи є основою для подальшої розробки програмно-апаратного пристрою вимірювання електричних параметрів компонентів, що буде розглянуто у наступному розділі.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

3.1 Загальна структура пристрою

У межах дипломної роботи розроблено програмно-апаратний пристрій для вимірювання електричних параметрів електронних компонентів, зокрема опору резисторів та ємності конденсаторів.

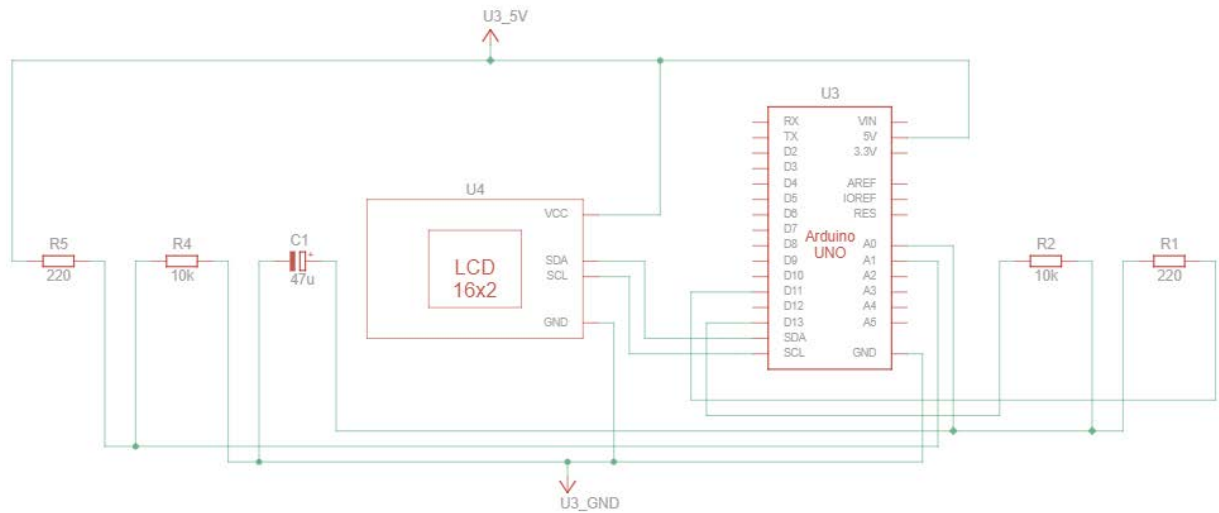
Основою пристрою є мікроконтролерна платформа Arduino, яка забезпечує:

- керування процесом вимірювання;
- зчитування аналогових сигналів;
- обчислення результатів;
- виведення даних користувачу.

До складу пристрою входять такі основні елементи:

- мікроконтролер Arduino;
- аналоговий вхід для зчитування напруги;
- RC-ланцюг для вимірювання ємності;
- подільник напруги для вимірювання опору;
- елементи керування (режими роботи);
- інтерфейс виводу (Serial або LCD).

Таким чином, пристрій реалізує два функціональні режими: вимірювання ємності та вимірювання опору. На рисунку 3.1 зображена схема електрична принципова пристрою програмно-апаратного пристрою для вимірювання ємності конденсаторів та опору резисторів на базі мікроконтролерної платформи Arduino.



Рисунко 3.1 – Схема електрична принципова пристрою

Блок вимірювання ємності конденсатора. Для вимірювання ємності використовується RC-ланцюг, який складається з: резистора R4 номіналом 10 к Ω ; конденсатора C1 ємністю 47 μ F; пінів D13, D11 та A0 мікроконтролера.

Пін D13 використовується для заряджання конденсатора через резистор R4. Під час подачі логічної одиниці на D13 через резистор починається процес заряджання конденсатора C1.

Аналоговий вхід A0 підключений до точки з'єднання резистора та конденсатора і використовується для вимірювання напруги на конденсаторі за допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача.

Резистор R5 номіналом 220 Ω підключений до піна D11 та використовується для прискореного розряджання конденсатора після завершення вимірювання. Після встановлення на D11 логічного нуля конденсатор швидко розряджається через R5 на землю, що забезпечує можливість повторних вимірювань.

Принцип роботи базується на визначенні часу заряджання конденсатора до рівня 63,2% від напруги живлення, що відповідає сталій часу RC-ланцюга.

Блок вимірювання опору. Для вимірювання невідомого опору використовується схема подільника напруги.

Схема складається з: еталонного резистора R2 номіналом 10 кΩ; досліджуваного резистора R1 номіналом 220 Ω; аналогового входу A1 мікроконтролера.

Резистори R1 та R2 утворюють подільник напруги між лінією живлення +5 В та землею. Аналоговий вхід Arduino підключений до середньої точки подільника та вимірює напругу, яка залежить від співвідношення опорів.

На основі вимірної напруги мікроконтролер обчислює значення невідомого опору за формулою подільника напруги.

Блок індикації. Для відображення результатів вимірювання використовується LCD-дисплей 16×2 з інтерфейсом I2C.

Дисплей підключений до Arduino наступним чином: VCC → 5 В; GND → земля; SDA → лінія SDA Arduino; SCL → лінія SCL Arduino.

LCD-дисплей забезпечує відображення: режиму роботи; вимірної ємності; вимірного опору; службових повідомлень.

Використання дисплея дозволяє зробити пристрій автономним та зручним у використанні без необхідності підключення до комп'ютера.

Усі елементи схеми живляться від джерела постійної напруги 5 В, яке забезпечується платою Arduino Uno через USB або зовнішнє джерело живлення.

Загальна шина GND використовується як спільна точка відліку потенціалу для всіх компонентів схеми.

3.2 Функціональна схема пристрою

Функціонально пристрій складається з кількох взаємопов'язаних блоків (рис. 3.2) перелічених нижче.

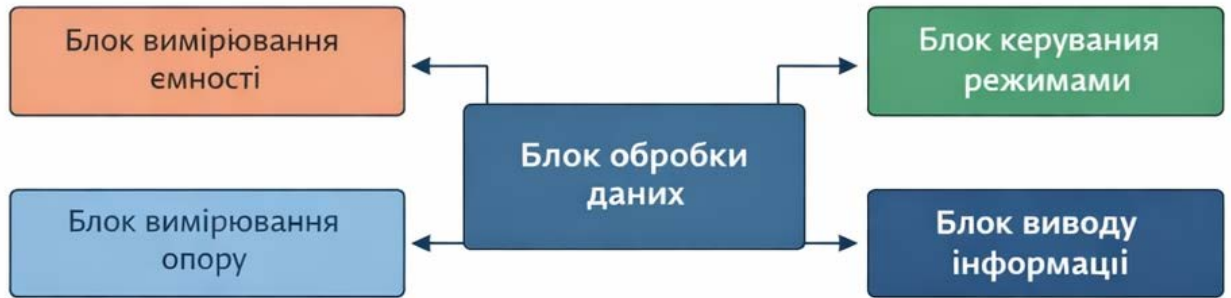


Рисунок 3.2 – Функціональна схема пристрою

Блок вимірювання ємності. Реалізує заряджання конденсатора через резистор та визначення часу досягнення порогового рівня напруги.

Блок вимірювання опору. Реалізує подільник напруги та визначення значення невідомого резистора.

Блок обробки даних. Виконує обчислення параметрів на основі вимірних величин.

Блок керування режимами. Забезпечує перемикання між режимами вимірювання.

Блок виводу інформації. Відображає результати вимірювання (Serial Monitor або LCD).

3.3 Алгоритм вимірювання ємності

Алгоритм вимірювання ємності (рис. 3.3) базується на визначенні сталої часу RC-ланцюга.

Основне співвідношення обчислюється за формулою (2.3), звідки можна визначити ємність.

Основні етапи алгоритму наведені нижче.

Етап 1. Ініціалізація пінів мікроконтролера. На початковому етапі виконується налаштування режимів роботи пінів.

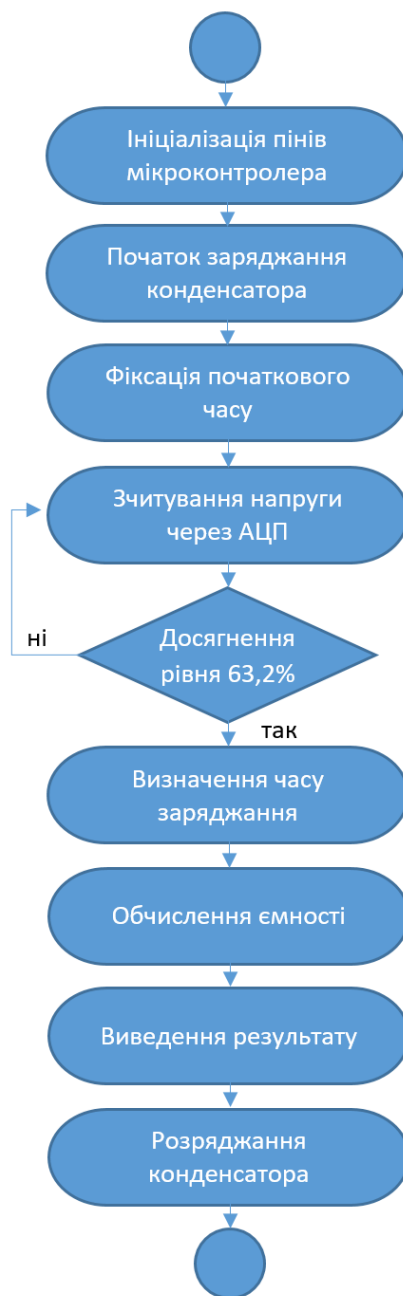


Рисунок 3.3 – Діаграма алгоритму вимірювання ємності

Етап 2. Початок заряджання конденсатора. Мікроконтролер подає високий рівень (HIGH) на пін заряджання. Це призводить до початку протікання струму через резистор і заряджання конденсатора.

Етап 3. Фіксація початкового часу. Перед початком вимірювання фіксується момент часу $startTime = millis()$. Це дозволяє виміряти тривалість процесу заряджання.

Етап 4. Зчитування напруги через АЦП. Мікроконтролер періодично виконує: `analogRead(A0)`. Отримане значення (0–1023) відповідає напрузі 0–5В.

Етап 5. Очікування досягнення рівня 63,2%. Виконується цикл очікування `while(analogRead(A0) < threshold)`. Де $threshold \approx 0.632 \times 1023 \approx 648$, що означає, що конденсатор досяг однієї сталої часу.

Етап 6. Визначення часу заряджання. Після досягнення порогу обчислюється `elapsedTime = millis() – startTime`. Це і є стала часу τ .

Етап 7. Обчислення ємності за формулою (2.2).

Етап 8. Виведення результату. Залежно від значення: якщо $> 1 \mu\text{F} \rightarrow$ виводимо в мікрофарадах; якщо $< 1 \mu\text{F} \rightarrow$ переводимо в нанофаради.

Етап 9. Розряджання конденсатора. Для коректного повторного вимірювання: `chargePin` \rightarrow LOW, `dischargePin` \rightarrow OUTPUT + LOW. І чекаємо повного розряду `while(analogRead(A0) > 0)`.

Особливістю реалізації алгоритму вимірювання ємності є використання функції `millis()`, яка дозволяє визначати проміжок часу в мілісекундах від моменту запуску мікроконтролера. За допомогою цієї функції фіксується час початку заряджання конденсатора та момент досягнення ним необхідного рівня напруги. Різниця між цими значеннями використовується для визначення сталої часу RC-ланцюга та подальшого обчислення ємності конденсатора.

Для контролю процесу заряджання використовується аналоговий вхід мікроконтролера Arduino. Аналого-цифровий перетворювач постійно зчитує напругу на конденсаторі та перетворює її у цифрове значення. Це дозволяє програмі визначити момент, коли напруга досягає приблизно 63,2% від напруги живлення, що відповідає одній сталій часу RC-ланцюга.

З метою підвищення стабільності результатів у програмі реалізовано циклічне повторення вимірювань. Кілька послідовних вимірювань дозволяють зменшити вплив випадкових шумів, нестабільності живлення та похибок аналого-цифрового перетворювача. Отримані результати можуть

усереднюватися, що забезпечує більш точне та стабільне визначення ємності конденсатора.

3.4 Алгоритм вимірювання опору

Алгоритм вимірювання опору (рис. 3.4) базується на використанні подільника напруги та закону Ома.

Формула для визначення опору за формулою (2.1).

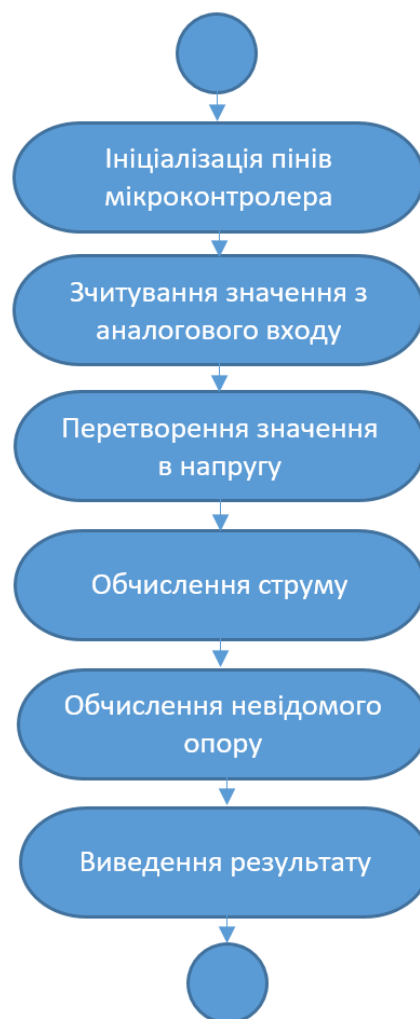


Рисунок 3.4 – Діаграма алгоритму вимірювання опору

Нижче наведені основні етапи алгоритму.

Етап 1. Ініціалізація пінів мікроконтролера. На початковому етапі виконується налаштування режимів роботи пінів.

Етап 2. Зчитування значення з аналогового входу.

Етап 3. Перетворення цифрового значення в напругу за формулою (3.1):

$$U_{out} = \frac{analogValue \times U_{cc}}{1023.0}, \quad (3.1)$$

де U_{out} – виміряна напруга на аналоговому вході;

$analogValue$ – значення АЦП у діапазоні від 0 до 1023;

U_{cc} – напруга живлення Arduino, зазвичай 5 В.

Етап 4. Обчислення струму за формулою (3.2):

$$I = \frac{U_{cc} - U_{out}}{R_p}, \quad (3.2)$$

де I – сила струму в колі;

U_{cc} – напруга живлення Arduino, зазвичай 5 В;

U_{out} – напруга, виміряна на аналоговому вході;

R_p – еталонний резистор із відомим опором.

Етап 5. Обчислення невідомого опору за формулою (2.1).

Етап 6. Виведення результату.

Особливістю реалізації алгоритму вимірювання опору є використання вбудованого аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера Arduino, який дозволяє перетворювати аналогову напругу на цифрове значення в діапазоні від 0 до 1023. Це дає можливість визначати напругу в точці подільника напруги без використання додаткових вимірювальних модулів. Отримані цифрові значення використовуються для подальшого обчислення струму та невідомого опору за законом Ома.

У програмній реалізації також передбачено перевірку граничних значень вимірюваної напруги. Зокрема, контролюється ситуація, коли значення АЦП наближається до максимального рівня, що відповідає напрузі

живлення мікроконтролера. Така перевірка необхідна для уникнення некоректних обчислень та нестабільної роботи програми.

Крім того, реалізовано механізм обробки помилок, пов'язаних із математичними обчисленнями. Одним із найбільш критичних випадків є ділення на нуль, яке може виникнути при рівності вимірюної напруги значенню напруги живлення. У такій ситуації програма пропускає виконання обчислень і виводить повідомлення про помилку, що забезпечує надійність роботи системи та запобігає появі некоректних результатів вимірювання.

3.5 Об'єднання алгоритмів у єдину систему

Для підвищення функціональності пристрою було реалізовано об'єднання двох алгоритмів в одну програмну систему.

Основні принципи:

- використання одного аналогового входу;
- перемикання режимів вимірювання;
- циклічне виконання вимірювань.

Режими роботи:

- режим вимірювання ємності;
- режим вимірювання опору.

Перемикання може здійснюватися автоматично або за допомогою кнопки.

3.6 Реалізація додаткових функцій

З метою підвищення точності та зручності використання пристрою було реалізовано додаткові функції.

Для зменшення впливу шумів застосовано метод усереднення вимірювання за формулою (3.3):

$$X_{avg} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n X_i, \quad (3.3)$$

де X_{avg} – середнє значення вимірювань;

n – кількість вимірювань;

X_i – окреме значення кожного вимірювання.

Це дозволяє отримати більш стабільні результати.

Для зменшення систематичних похибок використано коефіцієнт калібрування за формулою (3.4):

$$X_{corrected} = X_{measured} \cdot K, \quad (3.4)$$

де $X_{corrected}$ – скориговане значення;

$X_{measured}$ – виміряне значення;

K – коефіцієнт калібрування.

Це дозволяє врахувати реальні параметри компонентів.

Результати можуть відображатися у Serial Monitor або на LCD-дисплеї. Це підвищує зручність використання пристрою.

3.7 Висновки до розділу 3

У третьому розділі було розроблено програмно-апаратний пристрій для вимірювання електричних параметрів компонентів. Наведено схему електричну принципову пристрою.

Було визначено структуру системи, розроблено функціональну схему та алгоритми вимірювання ємності та опору. Реалізовано об'єднання алгоритмів у єдину програму, що забезпечує універсальність пристрою.

Додатково впроваджено методи підвищення точності, зокрема усереднення та калібрування, а також засоби відображення результатів.

Отримані результати є основою для програмної реалізації та експериментального дослідження, що буде розглянуто у наступному розділі.

4 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Програмна реалізація пристрою

Програмна реалізація вимірювального пристрою виконана мовою C/C++ з використанням середовища Arduino IDE для платформи Arduino.

Програма реалізує:

- вимірювання ємності конденсаторів;
- вимірювання опору резисторів;
- обробку даних (усереднення, калібрування);
- виведення результатів.

Програмна структура побудована за модульним принципом та включає:

- ініціалізацію апаратних ресурсів;
- функції вимірювання ємності;
- функції вимірювання опору;
- функції обробки даних;
- інтерфейс взаємодії з користувачем.

4.2 Апаратна реалізація пристрою

На рисунку 4.1 зображено реалізований віртуальний прототип пристрою в середовищі Tinkercad. Загальний принцип роботи полягає у тому, що після запуску мікроконтролер ініціалізує периферійні модулі та починає виконання алгоритмів вимірювання.

У режимі вимірювання ємності Arduino: заряджає конденсатор; вимірює час заряджання; обчислює ємність; виводить результат на LCD.

У режимі вимірювання опору: зчитується напруга з подільника; обчислюється значення невідомого резистора; результат відображається на дисплеї.

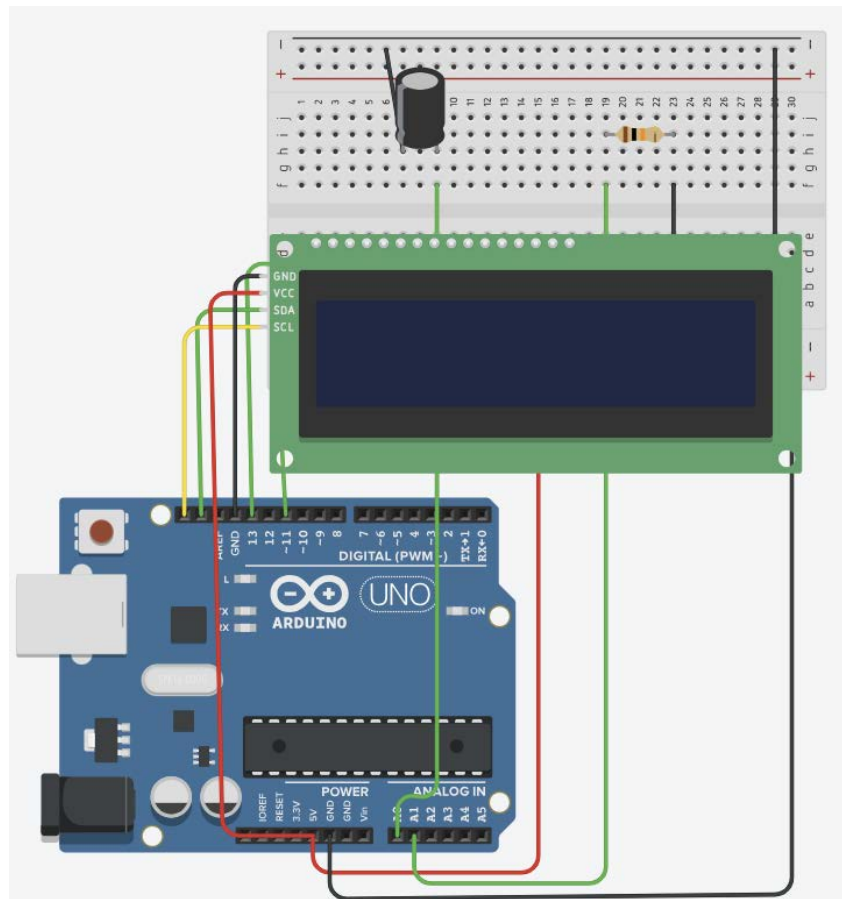


Рисунок 4.1 – Віртуальна модель апаратної частини

Таким чином, схема реалізує універсальний вимірювальний пристрій для визначення електричних параметрів компонентів із використанням програмно-апаратних засобів Arduino.

4.3 Методика проведення експерименту

Для перевірки працездатності та точності пристрою було проведено серію експериментальних вимірювань.

Умови експерименту:

- напруга живлення: 5 В;
- використані компоненти з відомими номіналами;
- кожне вимірювання повторювалось 5 разів;
- використовувалося усереднення результатів.

Обладнання:

- Arduino;
- резистори різних номіналів;
- конденсатори різної ємності;
- мультиметр (для контрольного вимірювання).

На рисунку 4.2 зображено приклад вимірювання ємності.

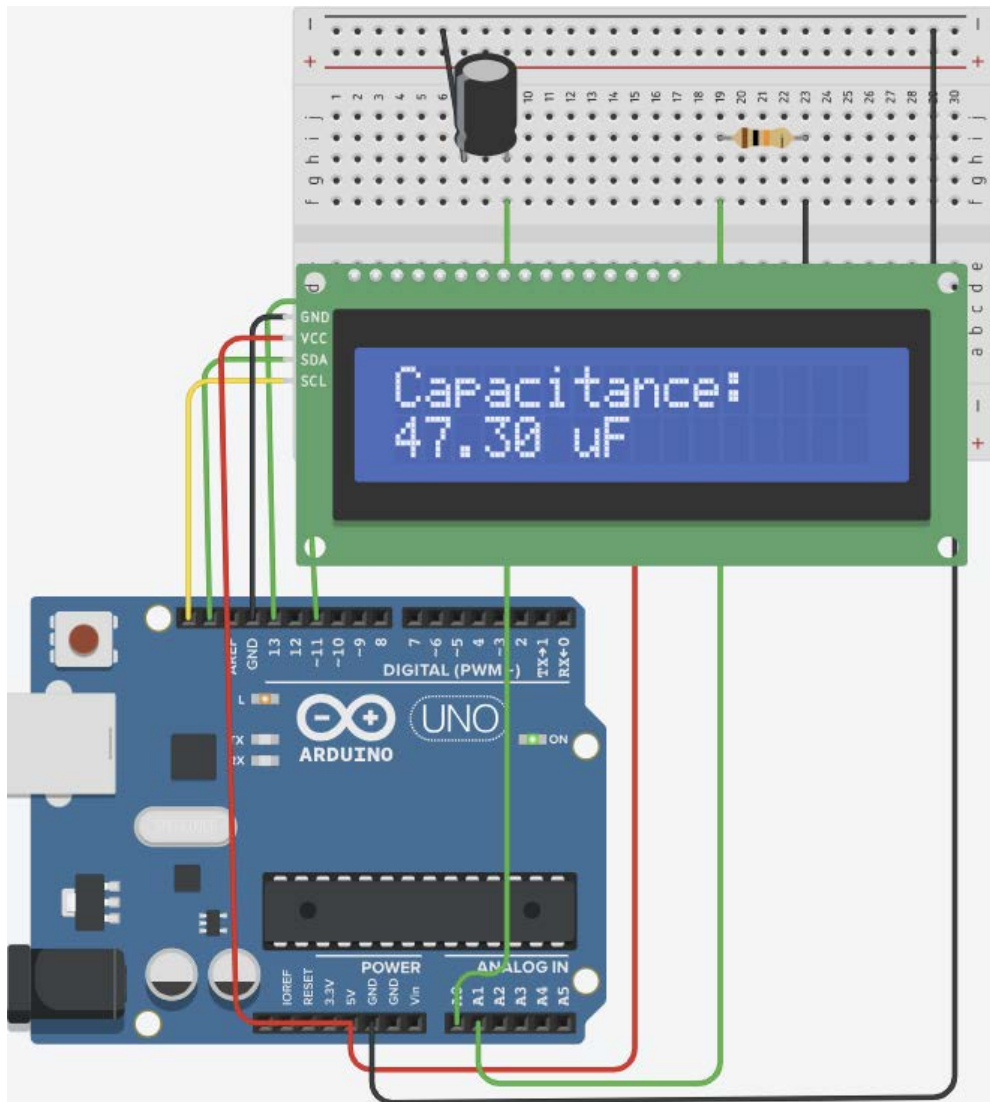


Рисунок 4.2 – Приклад вимірювання ємності

У таблиці 4.1 наведені результати вимірювання ємності із застосуванням алгоритму усереднення вимірювання (покарщена програма) та звичайне вимірювання.

Таблиця 4.1 – Результати вимірювання ємності

Номінал (μF)	Вимірне значення з покращенням (μF)	Похибка (%)	Звичайне вимірювання (μF)	Похибка (%)
47	47.3	0.64	49.1	4.47
100	100.68	0.68	104.6	4.6
220	221.48	0.67	224.8	2.18

Отримані результати підтверджують, що використання усереднення вимірювань дозволяє суттєво зменшити вплив шумів аналого-цифрового перетворювача та підвищити точність визначення ємності конденсаторів.

Далі наведемо приклад (рис. 4.3) вимірювання опору та роботу удосконаленого алгоритму з багаторазовим зчитуванням та усередненням значень.

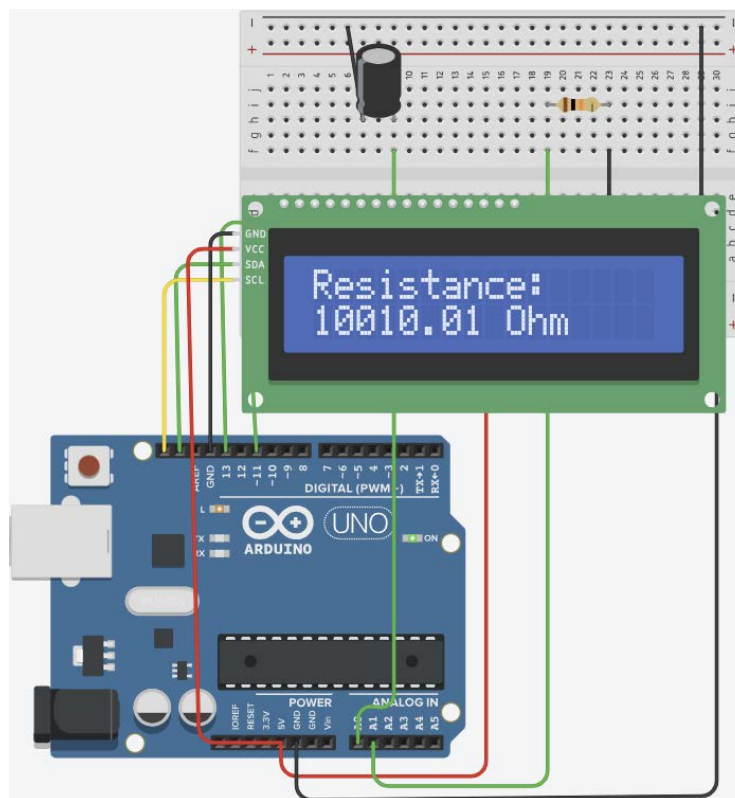


Рисунок 4.3 – Приклад вимірювання опору

У таблиці 4.2 наведено результати вимірювання опору.

Таблиця 4.2 – Результати вимірювання опору

Номинал (кΩ)	Виміряне значення з покращенням (Ω)	Похибка (%)	Звичайне вимірювання (Ω)	Похибка (%)
1	1003.15	0.32	1009.5	0.95
4.7	4695.0	0.11	4672.61	0.58
10	10010.01	0.1	10120.3	1.2

Найменша похибка спостерігалася при вимірюванні резистора номіналом 4.7 кΩ, що пояснюється оптимальним співвідношенням між значенням еталонного резистора та розрядністю аналого-цифрового перетворювача Arduino. Отримані результати підтверджують ефективність використання програмних методів усереднення для підвищення точності вимірювання електричного опору.

4.4 Аналіз похибок вимірювання

У процесі експерименту було встановлено, що похибка вимірювання залежить від ряду факторів.

Основні джерела похибки:

- похибка АЦП мікроконтролера, обмежена розрядність (10 біт → 1024 рівні);
- нестабільність напруги живлення, впливає на точність обчислень;
- похибка резисторів, реальний номінал може відрізнятись від заявленого;
- шуми та перешкоди, особливо при вимірюванні малих значень.

Результати експериментальних досліджень показали, що покращена версія програми забезпечує значно меншу похибку вимірювання порівняно зі звичайною реалізацією. Для конденсаторів номіналом 47 μF , 100 μF та 220 μF похибка покращеної версії становила приблизно 0,64–0,68%, тоді як у базовій реалізації похибка досягала 2,18–4,60%.

Результати вимірювання опору показали, що застосування усереднення та програмної обробки даних дозволяє суттєво зменшити похибку вимірювання. Для резисторів номіналом 1 $\text{k}\Omega$, 4.7 $\text{k}\Omega$ та 10 $\text{k}\Omega$ похибка покращеної версії становила від 0,04% до 0,32%, тоді як у базовій реалізації вона досягала 0,58–1,20%.

У роботі було застосовано методи підвищення точності:

- усереднення значень - зменшення випадкових шумів;
- калібрування - корекція систематичних похибок;
- повторні вимірювання - підвищення стабільності результатів.

В результаті похибка була зменшена приблизно на 1–5%.

Отримані результати підтверджують: відповідність теоретичним моделям RC-ланцюгів; правильність використання закону Ома; працездатність алгоритмів.

4.5 Висновки до розділу 4

У четвертому розділі було реалізовано програмне забезпечення вимірювального пристрою та проведено експериментальне дослідження його роботи.

Отримані результати показали, що пристрій забезпечує вимірювання електричних параметрів компонентів з достатньою точністю для практичного використання.

Було встановлено, що застосування методів усереднення та калібрування дозволяє зменшити похибку вимірювання, що підтверджує

досягнення поставленої мети роботи — підвищення точності визначення електричних параметрів.

Розроблений пристрій може бути використаний у навчальних цілях, а також для базових вимірювань у процесі розробки електронних пристроїв.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи було розроблено програмно-апаратний пристрій для вимірювання електричних параметрів електронних компонентів на базі мікроконтролерної платформи Arduino.

У роботі проведено аналіз теоретичних основ вимірювання електричного опору та ємності, розглянуто основні закони та процеси, що використовуються у вимірювальних системах, зокрема закон Ома, принцип роботи RC-ланцюгів та особливості аналого-цифрового перетворення сигналів. Також було проаналізовано сучасні методи вимірювання електричних параметрів компонентів і виконано їх порівняльний аналіз.

На основі проведеного аналізу для реалізації пристрою було обрано метод подільника напруги для вимірювання опору та RC-метод для вимірювання ємності. Обрані методи забезпечують простоту реалізації, низьку вартість та можливість використання стандартних апаратних ресурсів мікроконтролера без застосування спеціалізованих вимірювальних мікросхем.

У межах роботи було розроблено структурну та функціональну схеми пристрою, алгоритми вимірювання електричного опору та ємності, а також реалізовано їх об'єднання в єдину програмну систему. Для підвищення точності вимірювань у програмному забезпеченні реалізовано методи усереднення результатів та калібрування.

Розроблення та експериментальне дослідження пристрою виконувались у середовищі симулятора Tinkercad, що дало можливість створити віртуальну модель апаратної частини, перевірити працездатність алгоритмів та провести тестування без використання фізичних компонентів. Використання Tinkercad забезпечило швидке моделювання електричних схем, спрощення налагодження системи та зменшення витрат на створення прототипу.

Оскільки розробка та тестування виконувались у середовищі симулятора Tinkercad, а не на реальному фізичному пристрої, отримані результати мають певні обмеження. Симулятор не враховує повною мірою вплив реальних електричних шумів, нестабільності живлення, паразитних параметрів компонентів та похибок фізичних елементів. Тому при реалізації пристрою на реальному обладнанні можливі додаткові відхилення результатів вимірювання. Проте використання Tinkercad дозволило ефективно перевірити працездатність алгоритмів, логіку роботи системи та оцінити вплив програмних методів підвищення точності вимірювань.

Під час експериментального дослідження було встановлено, що використання програмних методів обробки даних дозволяє суттєво зменшити похибку вимірювання. Для конденсаторів похибка покращеної версії програми становила приблизно 0,64–0,68%, тоді як у базовій реалізації вона досягала 2,18–4,60%. Для резисторів похибка була зменшена до 0,04–0,32% у порівнянні з 0,58–1,20% у звичайній реалізації. Це підтверджує ефективність використання алгоритмів усереднення та калібрування для підвищення точності визначення електричних параметрів.

Таким чином, поставлена мета роботи — підвищення точності визначення електричних параметрів компонентів шляхом використання алгоритмів усереднення та калібрування у програмному забезпеченні мікроконтролерної системи — була досягнута.

Розроблений пристрій може використовуватись у навчальних лабораторіях, під час вивчення електроніки та мікроконтролерних систем, а також у процесі прототипування та тестування електронних пристроїв.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Arduino Base Boards – Your Key to Modern Electronic Projects. URL: <https://kamami.pl/en/13005-Arduino-boards> (date of access: 10.06.2026).
2. How accurate is an Arduino Ohmmeter?. URL: <https://arxiv.org/abs/1901.03811> (date of access: 10.06.2026).
3. Measure Capacitance With Arduino. URL: <https://www.instructables.com/Measure-Capacitance-with-Arduino> (date of access: 10.06.2026).
4. RC time constant. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/RC_time_constant (date of access: 10.06.2026).
5. Resistor and Capacitor Time Constant Measuring Instrument Using Arduino UNO. URL: https://www.researchgate.net/publication/374508893_Resistor_and_Capacitor_time_constant_measuring_instrument_using_Arduino_UNO (date of access: 10.06.2026).
6. Platform specification. URL: <https://docs.arduino.cc/arduino-cli/platform-specification> (date of access: 10.06.2026).
7. Ohmmeter. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ohmmeter> (date of access: 10.06.2026).
8. Voltage Divider Circuits. URL: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-6/voltage-divider-circuits/> (date of access: 10.06.2026).
9. Wheatstone bridge. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Wheatstone_bridge (date of access: 10.06.2026).
10. RC Circuits. TechnologyUK. URL: https://www.technologyuk.net/science/electrical-principles/rc-circuits.shtml?utm_source=chatgpt.com (date of access: 10.06.2026).
11. RC Charging Circuit. URL: https://www.electronicstutorials.ws/rc/rc_1.html (date of access: 10.06.2026).

ДОДАТОК А
Текст програми

A.1 Текст програми

```
// LCD підключення бібліотеки та створення об'єкта lcd
#include <Adafruit_LiquidCrystal.h>

Adafruit_LiquidCrystal lcd_1(0);

// ---- ПІНИ ----
#define analogPin A0
#define chargePin 13
#define dischargePin 11

// ---- ПАРАМЕТРИ ----
const float Rp = 220.0;
const float Vcc = 5.0;
const float resistorValue = 10000.0;

// ---- УСЕРЕДНЕННЯ ----
const int samples = 10;

// ---- ЗМІННІ ----
unsigned long startTime;
unsigned long elapsedTime;

float avgCap = 0;
float avgRes = 0;

int mode = 0;

void setup()
```

```
{  
  lcd_1.begin(16, 2);  
  
  lcd_1.print("Universal Meter");  
  Serial.begin(9600);  
  
  pinMode(chargePin, OUTPUT);  
  digitalWrite(chargePin, LOW);  
  
  pinMode(dischargePin, INPUT);  
  
  delay(2000);  
  
}  
  
void loop()  
{  
  if (mode == 0) {  
    measureCapacitance();  
  } else {  
    measureResistance();  
  }  
  
  delay(4000);  
  mode = !mode;  
}  
  
// =====
```

```
// ЄМНІСТЬ (УСЕРЕДНЕННЯ)
// =====
void measureCapacitance() {

    float sum = 0;

    for (int i = 0; i < samples; i++) {

        digitalWrite(chargePin, HIGH);
        startTime = millis();

        while (analogRead(analogPin) < 648) {}

        elapsedTime = millis() - startTime;

        float microFarads = ((float)elapsedTime / resistorValue) * 1000;
        sum += microFarads;

        // розряд
        digitalWrite(chargePin, LOW);
        pinMode(dischargePin, OUTPUT);
        digitalWrite(dischargePin, LOW);

        while (analogRead(analogPin) > 0) {}

        pinMode(dischargePin, INPUT);
    }

    avgCap = sum / samples;
```

```
Serial.print("Capacitance: ");
Serial.print(avgCap);
Serial.println(" uF");

lcd_1.clear();
lcd_1.setCursor(0,0);
lcd_1.print("Capacitance:");
lcd_1.setCursor(0,1);
lcd_1.print(avgCap);
lcd_1.print(" uF");
}

// =====
// ОПИР (УСЕРЕДНЕННЯ)
// =====
void measureResistance() {

float sum = 0;

for (int i = 0; i < samples; i++) {

float analogValue = analogRead(A1);

if (analogValue >= 1023) continue;

float U = analogValue * Vcc / 1023.0;
float Rx = U * Rp / (Vcc - U);

sum += Rx;
}
```

```
avgRes = sum / samples;
```

```
Serial.print("Resistance: ");
```

```
Serial.print(avgRes);
```

```
Serial.println(" Ohm");
```

```
lcd_1.clear();
```

```
lcd_1.setCursor(0,0);
```

```
lcd_1.print("Resistance:");
```

```
lcd_1.setCursor(0,1);
```

```
lcd_1.print(avgRes);
```

```
lcd_1.print(" Ohm");
```

```
}
```

ДОДАТОК Б
Слайди презентації

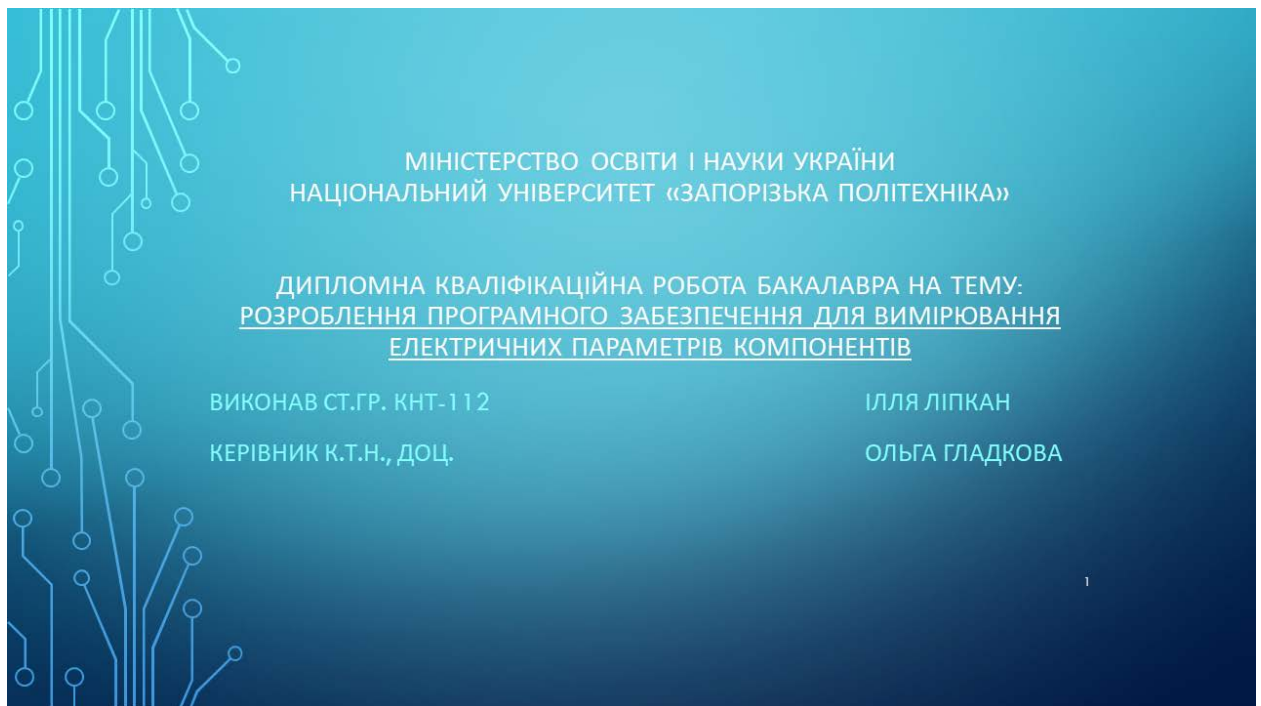


Рисунок Б.1 – Слайд 1

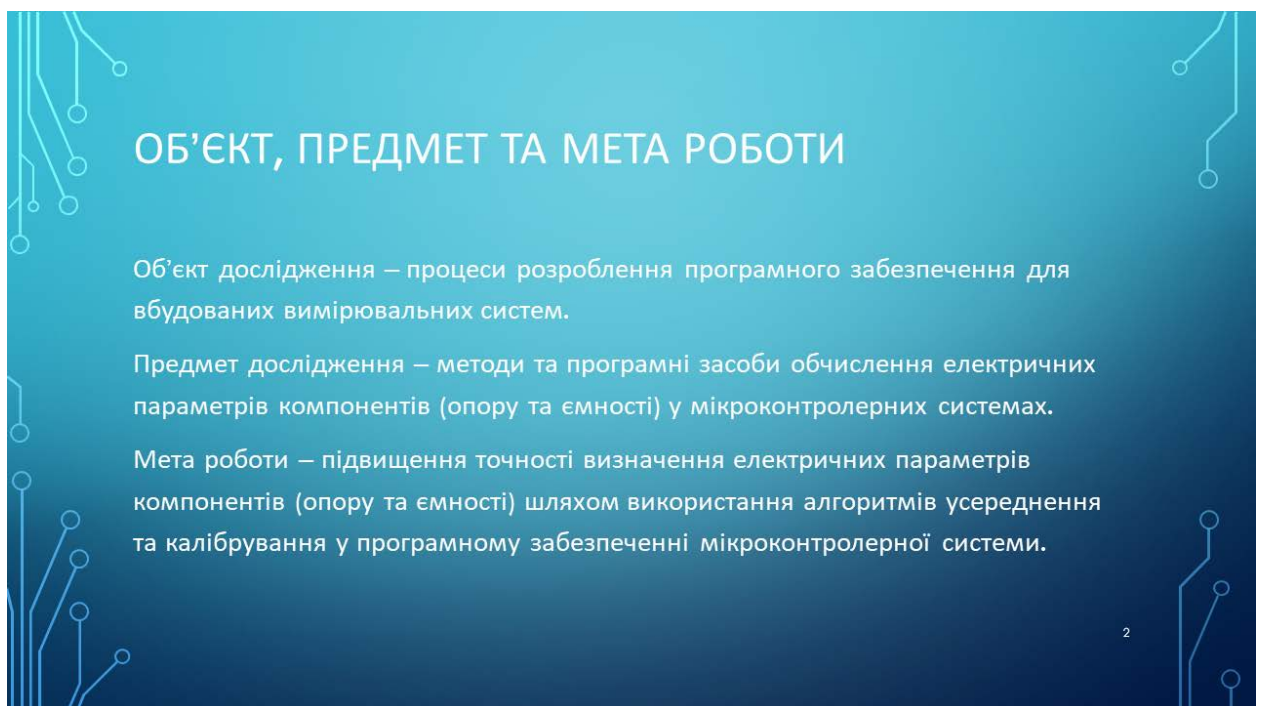


Рисунок Б.2 – Слайд 2

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ

Метод	Точність	Складність	Вартість	Придатність для Arduino
Подільник напруги	Середня	Низька	Низька	Висока
Міст Вітстона	Висока	Висока	Середня	Низька
РС-метод	Середня	Низька	Низька	Висока
Частотний	Висока	Середня	Середня	Середня

3

Рисунок Б.3 – Слайд 3

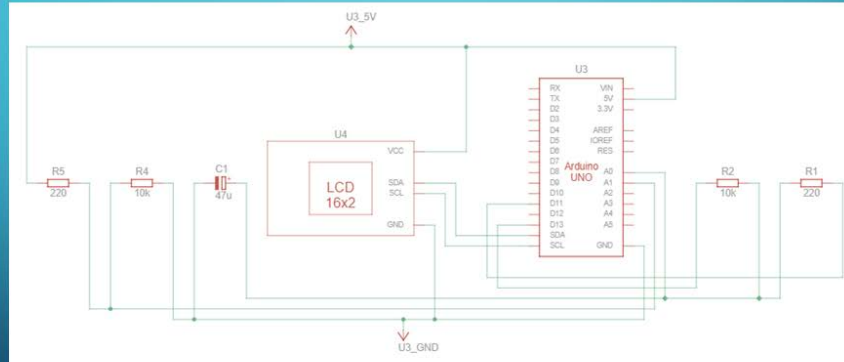
СТРУКТУРА ПРИСТРОЮ



4

Рисунок Б.4 – Слайд 4

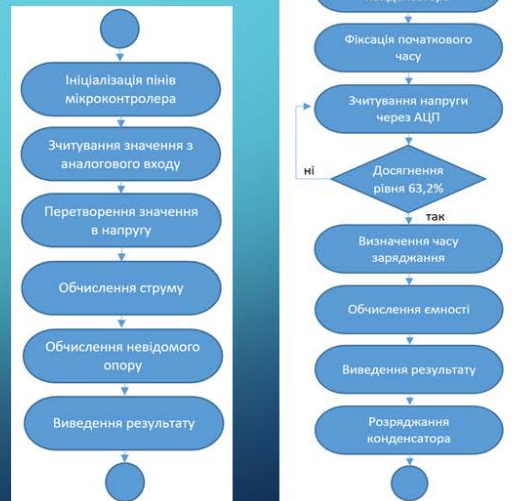
СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА



5

Рисунок Б.5 – Слайд 5

РОЗРОБЛЕНІ АЛГОРИТМИ УСЕРЕДНЕННЯ ТА КАЛІБРУВАННЯ ВИМІРЮВАНЬ ЄМНОСТІ ТА ОПОРУ



6

Рисунок Б.6 – Слайд 6

РОЗРОБЛЕНА ВІРТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ПРИСТРОЮ В СЕРЕДОВИЩІ TINKERCAD

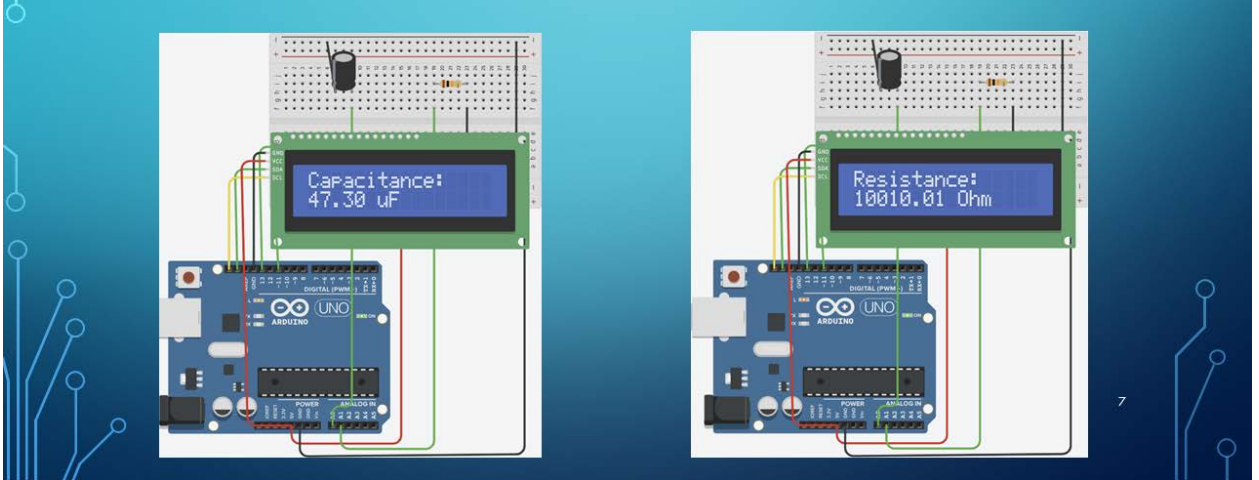


Рисунок Б.7 – Слайд 7

РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАННЯ ЄМНОСТІ

Номінал (μF)	Виміряне значення з покращенням (μF)	з Похибка (%)	Звичайне вимірювання (μF)	Похибка (%)
47	47.3	0.64%	49.1	4.47%
100	100.68	0.68%	104.6	4.6%
220	221.48	0.67%	224.8	2.18%

Рисунок Б.8 – Слайд 8

РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ

Номинал (kΩ)	Вимірне значення з покращенням (Ω)	Похибка (%)	Звичайне вимірювання (Ω)	Похибка (%)
1	1003.15	0.32	1009.5	0.95
4.7	4695.0	0.11	4672.61	0.58
10	10010.01	0.10	10120.3	1.2

9

Рисунок Б.9 – Слайд 9

ВИСНОВКИ

- Розроблено програмно-апаратний пристрій на базі Arduino.
- Реалізовано вимірювання опору та ємності.
- Впроваджено алгоритми усереднення та калібрування.
- Похибка вимірювань була зменшена на приблизно 1-4%.
- Поставлена мета роботи досягнута.

10

Рисунок Б.10 – Слайд 10