

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Система автоматизованого контролю параметрів та відбраковки Li-Ion-х
акумуляторів типу 18650 на базі мікроконтролера ATmega328
Назва теми

КВРКІ 210239.21.02.65 ПЗ
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр. назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр. назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Виконав: студент IV курсу, група КІ2-21-2


Підпис

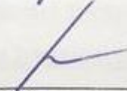
Максим КУЛІШЕНКО
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

Василь СТЕЦЮК
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

Тетяна КИСІЛЬ
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
зав. кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних
систем


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

«05» червня 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Максиму КУЛІШЕНКО

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Система автоматизованого контролю параметрів та відбраковки Li-Ion-х акумуляторів типу 18650 на базі мікроконтролера ATmega328
Керівник проекту (роботи) Василь СТЕЦІЮК, старший викладач

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Система автоматизованого контролю параметрів та відбраковки Li-Ion-х акумуляторів типу 18650 на базі мікроконтролера ATmega328 та постановка задачі щодо її удосконалення

Проектування системи обробки інформації у системі автоматизованого контролю параметрів та відбраковки Li-Ion-х акумуляторів

Програмно-апаратна реалізація системи автоматизованого контролю параметрів та відбраковки Li-Ion-х акумуляторів

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Логічні схеми алгоритмів

Архітектура ПЗ, схематичні компоненти

Апаратне забезпечення проекту

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КПС		
Антиплагіат	Андрій НіЧЕПОРУК, доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2025	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проектування системи автоматизованого контролю параметрів акумуляторів	01.04.2025	виконано
5	Робота над розділом 3 – проектування системи автоматизованого контролю параметрів акумуляторів	29.04.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент

Підпис

Максим КУЛІШЕНКО
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

Василь СТЕЦЮК
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Система автоматизованого контролю параметрів та відбраковки Li-Ion-х акумуляторів типу 18650 на базі мікроконтролера ATmega328».

Автор роботи: Максим КУЛІШЕНКО.

Керівник роботи: Стецюк Василь Миколайович.

Пояснювальна записка: 55 с., 22 рис., 3 табл., 4 дод., 50 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

АКУМУЛЯТОРИ, СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ, МОНІТОРИНГ, МІКРОКОНТРОЛЕР ATMEGA328.

Метою дипломної роботи є розробка та створення функціональної автоматизованої системи контролю параметрів і відбраковки Li-Ion акумуляторів типу 18650. На базі мікроконтролера ATmega328 система має забезпечити точне вимірювання ключових характеристик акумуляторів та автоматизоване їх сортування за заданими критеріями.

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого контролю параметрів Li-Ion акумуляторів типу 18650.

Предметом дослідження є розроблена система, призначена для вимірювання параметрів та відбраковки неякісних акумуляторів.

Під час проведення даного дослідження був використаний метод систематичного огляду літератури для вивчення і аналізу предметної області даного дослідження з текстових джерел інформації.



Підпис студента

30.05.2025

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТА ВІДБРАКОВКИ АКУМУЛЯТОРІВ ТИПУ 18650 НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛERA АТМЕГА328 ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ЩОДО ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ	5
1.1 Аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань ..	5
1.2 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих рішень	10
1.3 Аналіз автоматизованих методів контролю	13
1.4 Архітектура, характеристики та можливості застосування мікроконтролера АТМega328	14
1.5 Висновки	20
2 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ	22
2.1 Розробка функціональної та структурної схем системи	22
2.2 Розробка принципової електричної схеми системи	25
2.3 Блок індикації та інтерфейсу користувача	30
2.4 Блок живлення та силової частини	32
2.5 Конструкція пристрою та механічна частина	36
2.6 Висновки	37
3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛERA АТМЕГА328	39
3.1 Вибір середовища розробки та архітектура програмного забезпечення	39
3.2 Основні функції та алгоритми системи контролю	40
3.3 Оптимізація програмного коду	48
3.4 Тестування та налагодження програмного забезпечення	50
3.5 Основні функції програми, змінні та використані бібліотеки	52

КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ					
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата	
Виконав		Максим КУЛІШЕНКО	<i>М.Кулішенко</i>	04.06.2020	Система автоматизованого контролю параметрів та відбраковки акумуляторів. Пояснювальна записка
Перевір.		Василь СТЕЦЮК	<i>В.Стецюк</i>	04.06.20	
Н.контр.		Тетяна КИСІЛЬ	<i>Т.Кисіль</i>	04.06.20	ХНУ КІ2-21-2
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА	<i>О.Павлова</i>	04.06.20	
					Літера
					Аркуш
					Аркушів
					у
					2
					72

3.6. Висновки.....	57
ВИСНОВКИ.....	58
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	60
ДОДАТОК А.....	69
ДОДАТОК Б.....	70
ДОДАТОК В.....	71
ДОДАТОК Г.....	72

ВСТУП

Останніми роками значно зросло використання Li-Ion акумуляторів у різноманітних галузях промисловості та побутової техніки. Особливу популярність здобули акумулятори типу 18650 завдяки своїм компактним розмірам, високій енергетичній щільності та відносно низькій вартості. Вони широко застосовуються в ноутбуках, електроінструментах, електронних сигаретах, ліхтарях та особливо в електротранспорті, де часто об'єднуються в батарейні збірки.

Зростаючий попит на ці акумулятори призвів до збільшення кількості виробників та розширення асортименту, що, на жаль, супроводжується нерівномірною якістю продукції. На ринку зустрічаються елементи з характеристиками, значно нижчими від заявлених виробником, а також відновлені та підроблені акумулятори. Використання неякісних елементів може призвести до швидкої деградації батарейних збірок, зниження їх ємності та навіть до небезпечних ситуацій, включаючи загоряння та вибухи.

Проблема контролю якості Li-Ion акумуляторів типу 18650 є особливо актуальною для сервісних центрів, що займаються ремонтом електротранспорту та портативної електроніки, а також для малих підприємств, що виготовляють батарейні збірки. Існуючі методи контролю параметрів акумуляторів часто є трудомісткими, вимагають значних часових витрат та спеціального обладнання, що не завжди доступне малим підприємствам та приватним майстрам.

Жодне з існуючих рішень не є оптимальним для малих підприємств та сервісних центрів, де потрібна гнучка, доступна за ціною система, що забезпечить комплексний контроль параметрів та автоматичну відбраковку неякісних елементів.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТА ВІДБРАКОВКИ АКУМУЛЯТОРІВ ТИПУ 18650 НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА АТМЕГА328 ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ЩОДО ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ

1.1 Аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань

Li-Ion акумулятори форм-фактора 18650 широко застосовуються в портативній електроніці, електротранспорті, системах резервного живлення тощо (зображено на рисунку 1.1). Мають високий енергетичний вміст, тривалий термін служби, але вимагають точного контролю параметрів під час експлуатації. Неякісні або деградовані акумулятори можуть призвести до зниження ефективності або небезпеки займання.



Рисунок 1.1 – Li-Ion акумулятор типу 18650 [51]

Літій-іонні акумулятори (Li-Ion) - це тип перезаряджуваних батарей, які використовують літій у іонній формі як основний компонент електроліту. Основним принципом роботи Li-Ion акумуляторів є перенесення іонів літію між електродами під час заряду та розряду.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Типова конструкція Li-Ion акумулятора включає Позитивний та негативний електроди, електроліт, сепаратор та корпус з контактами.

Позитивний електрод (катод) - зазвичай оксид літію з металом. Негативний електрод (анод) - зазвичай графіт. Електроліт - розчин літієвої солі в органічному розчиннику. Сепаратор - пориста мембрана, що розділяє електроди. Корпус з контактами. Під час заряду іони літію переміщуються від катода до анода, вбудовуючись у кристалічну решітку графіту. При розряді відбувається зворотний процес.гіроскоп [1-3].

Акумулятори типу 18650 мають циліндричну форму та стандартизовані розміри: діаметр 18 мм та довжину 65 мм. Позначення "18650" відображає ці розміри у міліметрах. Номінальна напруга Li-Ion акумуляторів типу 18650 складає 3,6-3,7 В, ємність сучасних елементів варіюється від 1800 до 3600 мА*год. Розглянемо їх основні переваги та недоліки.

Основні переваги Li-Ion акумуляторів типу 18650: висока енергетична щільність (до 200-260 Вт*год/кг), відсутність ефекту пам'яті, низький саморозряд (2-8% на місяць), тривалий термін служби (500-1500 циклів заряду-розряду) та широкий діапазон робочих температур (від -20°C до +60°C).

Основні недоліки: деградація з часом навіть без використання, чутливість до перезаряду та глибокого розряду, ризик термічного розгону при пошкодженні або надмірному нагріванні, необхідність використання спеціальних зарядних пристроїв та схем захисту.

Найбільш поширеними у форматі 18650 є елементи типу NMC та NCA через їх оптимальні характеристики для широкого спектру застосувань.

Для забезпечення надійної роботи та безпечного використання Li-Ion акумуляторів типу 18650 необхідно контролювати низку параметрів, які підлягають контролю і характеризують їх стан та якість. Основними параметрами, що підлягають контролю, є напруга розімкненого кола, ємність акумулятора та внутрішній опір.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Напруга розімкненого кола: діапазон 2,5-4,2 В (залежно від стану заряду).
Методом вимірювання є вольтметр з високим вхідним опором.

Значення повністю зарядженого акумулятора 4,1-4,2В, при 50% заряді приблизно 3,7-3,8В та значення повністю розрядженого акумулятора 2,5-3,0В).

Напруга розімкненого кола вказує загальний стан акумулятора, приблизний рівень заряду та можливу наявність внутрішніх пошкоджень.

Ємність акумулятора: одиниці виміру мА*год (мілі-ампер-години). Діапазон для елементів від 1800 до 3600 мА*год. Методом вимірювання є контрольований розряд постійним струмом з фіксацією часу розряду.

Ємність акумулятора вказує реальну енергетичну ємність акумулятора, ступінь деградації та відповідність заявленим характеристикам.

Внутрішній опір: одиниці виміру мОм (мілі-оми). Діапазон для нових елементів 15-80 мОм. Методами вимірювання є метод падіння напруги під навантаженням та метод короткочасного імпульсу струму.

Внутрішній опір вказує здатність акумулятора забезпечувати високі струми розряду, ступінь зношеності та можливу наявність внутрішніх пошкоджень.

Ці параметри є ключовими для визначення якості та стану Li-Ion акумуляторів типу 18650 і можуть бути виміряні за допомогою відносно простих схемотехнічних рішень, доступних для реалізації на базі мікроконтролера ATmega328 [4-8].

Основними параметрами є напруга (U), внутрішній опір (R), ємність (C), струм саморозряду і температура (T). Для відбраковки важливо виявляти акумулятори, що мають значні відхилення від номінальних значень (низька ємність, високий внутрішній опір тощо). Сучасний підхід до перевірки часто виконується вручну або напівавтоматизовано за допомогою лабораторного обладнання. Це повільно, трудомістко та не забезпечує масову перевірку з великою швидкістю.

Мікроконтролер ATmega328 (ядро Arduino Uno) - недорогий, широко доступний мікроконтролер з достатніми ресурсами для реалізації системи збору

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

даних, управління реле/модулями, передачі результатів тощо. (плата мікроконтролера зображена на рисунку 1.2). Має АЦП, UART, I2C, SPI, що необхідні для зчитування та передавання даних з датчиків та модулів.



Рисунок 1.2 – Плата мікроконтролера Arduino UNO ATmega328 [52]

Крім зазначених переваг, Li-Ion акумулятори форм-фактора 18650 мають хорошу питому потужність, що дозволяє використовувати їх у пристроях з високим споживанням енергії, таких як електроінструменти, дрони, електровелосипеди та гіроскутери.

Також вони мають стабільну вихідну напругу протягом більшої частини циклу розряду, що є важливою перевагою порівняно з іншими типами акумуляторів. Завдяки малій вазі та компактним розмірам вони ідеально підходять для створення акумуляторних збірок великої ємності, які складаються з десятків або навіть сотень окремих елементів.

У таких системах особливу увагу приділяють балансуванню елементів та контролю температурного режиму, оскільки навіть незначна різниця у параметрах може призвести до деградації всієї збірки.

тестування великої кількості акумуляторів, що призводить до низької продуктивності.

Висока вартість промислових систем тестування, що недосяжні для малого бізнесу або майстерень, недостатня діагностика: перевіряються не всі параметри, що призводить до некоректної оцінки стану елемента і відсутність ведення обліку та історії тестувань, що ускладнює аналіз якості партій.

Далі розглянемо основні завдання, що мають бути вирішені.

Розробка системи контролю з використанням мікроконтролера ATmega328 для вимірювання напруги, оцінки внутрішнього опору (через падіння напруги при навантаженні), визначення ємності (за часом розряду при фіксованому струмі) та контролю температури (для безпеки).

Автоматизація процесу тестування та класифікації акумуляторів на "придатні", "обмежено придатні" та "непридатні" за допомогою програмного забезпечення або індикаторів.

Розробка простого інтерфейсу користувача для запуску тесту, перегляду результатів, вивантаження або збереження даних.

Оптимізація часу перевірки одного елемента та забезпечення масштабування (багатоканальність або обробка партій).

Забезпечення безпечної роботи з Li-Ion елементами (захист від перенапруги, короткого замикання та перегріву).

1.2 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих рішень

Сьогодні на ринку існує низка рішень для діагностики та контролю параметрів Li-Ion акумуляторів, зокрема формату 18650. Ці рішення можна умовно поділити на промислові автоматизовані стенди, лабораторні зарядно-розрядні пристрої та аматорські проекти на базі мікроконтролерів [9, 10].

Промислові системи, такі як Cadex C7400, BTS-5V3A або Chroma 17020, призначені для високоточного тестування та аналізу батарей (рисунок 1.3). Вони

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здатні вимірювати ємність, внутрішній опір, напругу та струм з високою точністю, а також мають вбудовані алгоритми для виявлення деградованих елементів.

Переваги: висока точність вимірювань; автоматизація процесу відбраковки; підтримка великої кількості каналів тестування; надійність, що відповідає промисловим стандартам. Недоліки: висока вартість (від кількох тисяч доларів США), вузька спеціалізація та складність обслуговування, необхідність наявності спеціального програмного забезпечення та кваліфікованого персоналу.



Рисунок 1.3 – промислова система Cadex C7400 [53]

Лабораторні зарядно-розрядні пристрої такі, як iCharger, SkyRC MC3000 або ZKE Tech EBD-USB (рисунок 1.4). Вони дозволяють вимірювати базові параметри акумуляторів, проводити циклічні тести заряд/розряд та відображають дані у вигляді графіків.

Переваги: порівняно невисока ціна; придатність для ручного або напівавтоматичного тестування, широкий спектр параметрів, що вимірюються та підключення до ПК для збору статистики. Недоліки: обмежена кількість

аккумуляторів, які можуть тестуватись одночасно; потреба у ручному контролі процесу та відсутність функції автоматичної відбраковки або сортування.



Рисунок 1.4 – Лабораторний зарядно-розрядний пристрій SkyRC MC3000 [54]

Аматорські системи побудовані на базі мікроконтролерів типу ATmega328, ESP32, STM32 тощо, набувають все більшої популярності. Вони базуються на відкритих апаратних та програмних рішеннях, таких як Arduino або ESPHome. Переваги: низька вартість розробки, гнучкість конфігурації, можливість автоматизації окремих етапів тестування, простота інтеграції з іншими системами, зокрема засобами сортування. Недоліки: нижча точність вимірювань порівняно з промисловими системами, обмеження по кількості каналів, відсутність сертифікації або гарантій якості, потреба в розробці програмного забезпечення та калібруванні.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Архітектура, характеристики та можливості застосування мікроконтролера ATmega328 та сенсорів

Мікроконтролер ATmega328 є одним із найпопулярніших мікроконтролерів сімейства AVR від компанії Microchip. Його широке поширення пов'язане з використанням у платформі Arduino, що робить його доступним та зручним для різноманітних проектів (зображено на рисунку 1.5).

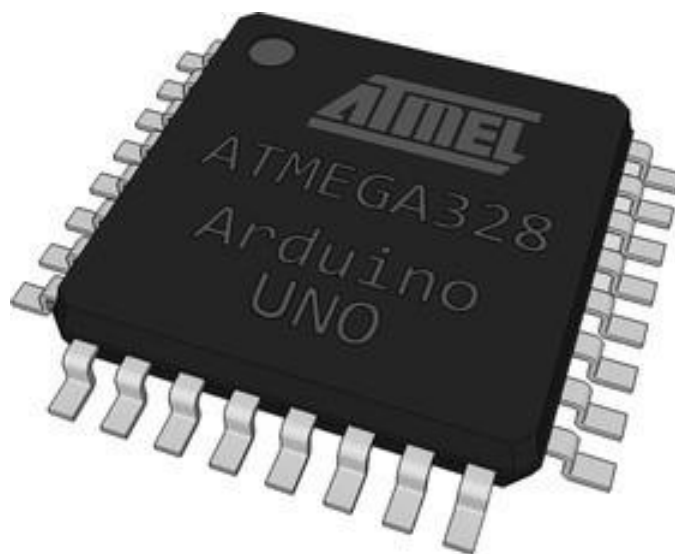


Рисунок 1.5 – Мікроконтролер ATmega328 [55]

ATmega328 має швидке та енергоефективне 8-бітне RISC-ядро AVR. У ньому використовується модифікована Гарвардська архітектура, що означає окремі шини для програм та даних, що прискорює роботу. Мікроконтролер підтримує 131 інструкцію, більшість з яких виконуються за один такт, і має 32 універсальних 8-бітних реєстри. Завдяки цьому, при тактовій частоті 20 МГц, він може виконувати до 20 мільйонів інструкцій за секунду. ATmega328 має 32 КБ Flash-пам'яті для програм (0,5 КБ зарезервовано для завантажувача), 2 КБ оперативної пам'яті (SRAM) та 1 КБ енергонезалежної пам'яті (EEPROM). Далі розглянемо основні характеристики:

Периферія:

- 23 програмовані лінії введення/виведення (GPIO).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

- 6 аналогових входів з 10-бітним аналого-цифровим перетворювачем.
- 6 каналів широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).
- Апаратні інтерфейси для зв'язку (UART, SPI, I2C).
- Три таймери/лічильники (один 16-бітний та два 8-бітних).
- Аналоговий компаратор.
- Сторожовий таймер (Watchdog) для запобігання зависанню.
- Програмований детектор зниження напруги живлення.

Електричними характеристиками є напруга живлення (від 1.8 до 5.5 В), споживання струму (активний режим 0,2 мА при 1 МГц та 3В, режим енергозбереження до 0,1 мкА) та робоча температура (від -40°C до +85°C). [15-17]

АТМega328 ідеально підходить для контролю параметрів Li-Ion акумуляторів завдяки своїм наступним характеристикам.

Аналогово-цифрове перетворення: має 6 каналів 10-бітного АЦП для вимірювання напруги акумуляторів та розрахунку їх внутрішнього опору; швидкість перетворення складає 13-260 мікросекунд; діапазон вимірюваної напруги варіюється від 0В до напруги живлення; висока точність вимірювання.

Керування навантаженням: ШІМ-виходи дозволяють плавно керувати електронним навантаженням для контрольованого розряду акумуляторів; можливість керувати електронними ключами для перемикання різних режимів тестування.

Вимірювання часу: точні таймери для вимірювання часу розряду, що необхідно для визначення ємності акумуляторів; можливість налаштування переривань за таймером для регулярних вимірювань.

Інтерфейси зв'язку: UART для підключення до комп'ютера та передачі даних вимірювань; SPI та I2C для під'єднання додаткових пристроїв, таких як дисплеї або модулі пам'яті.

Обчислювальні можливості: достатня продуктивність для розрахунку параметрів акумуляторів у реальному часі; можливість реалізації алгоритмів

фільтрації та обробки даних; підтримка операцій з плаваючою крапкою через програмні бібліотеки.

Енергоефективністю є низьке споживання енергії, що важливо для портативних систем тестування; режими зниженого енергоспоживання для оптимізації роботи.

Практичними перевагами є доступність та низька вартість, велика спільнота розробників та значна кількість готових бібліотек, сумісність з платформою Arduino, що спрощує розробку прототипів та можливість використання різноманітних середовищ розробки (Arduino IDE, Atmel Studio, ін.).

Мікроконтролер ATmega328 надає оптимальний баланс між функціональністю, простотою розробки та вартістю, що робить його відмінним вибором для створення автоматизованої системи контролю параметрів Li-Ion акумуляторів. Хоча він має певні обмеження порівняно з більш потужними мікроконтролерами (наприклад, обмежений обсяг пам'яті та відсутність вбудованого АЦП високої точності), ці обмеження можуть бути подолані за допомогою оптимізації програмного коду та використання додаткових зовнішніх компонентів [18-20].

Вимірювання ємності акумулятора вимагає контрольованого розряду з фіксацією часу та параметрів розряду і може проводитись двома видами навантаження, кожне з яких містить переваги та недоліки.

Активне навантаження: MOSFET-транзистор з операційним підсилювачем для створення джерела постійного струму, підсилювач зворотного зв'язку для стабілізації струму і потужний резистор навантаження. Переваги: стабільний струм розряду і висока точність вимірювання ємності. Недоліки: складність реалізації та нагрівання компонентів.

Для створення ефективної та недорогої системи контролю параметрів Li-Ion акумуляторів 18650 з мікроконтролером ATmega328, важливо підібрати сенсори й компоненти, що забезпечують достатню точність при мінімальній вартості.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними параметрами для контролю є напруга, внутрішній опір та ємність. Для вимірювання напруги не потрібен окремий сенсор, тому що використовуємо внутрішній АЦП АТМega328.

Для вимірювання внутрішнього опору було використано операційний підсилювач LM358(зображено на рисунку 1.6), тому що він має класичний DIP-8 корпус, зручний для макеток і ручного монтажу, повністю сумісний з АТМega328 (живлення 3–32 В, виводи легко зчитуються через АЦП), а також MOSFET для керування навантаженням IRLZ44N(зображено на рисунку 1.7).

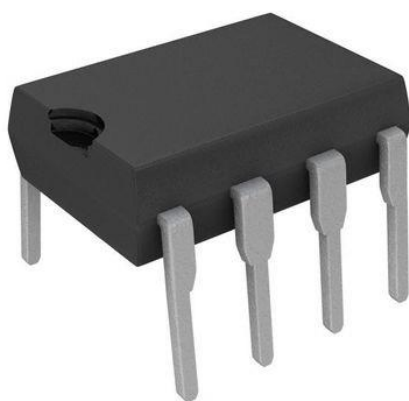


Рисунок 1.6 – Операційний підсилювач LM358 [56]

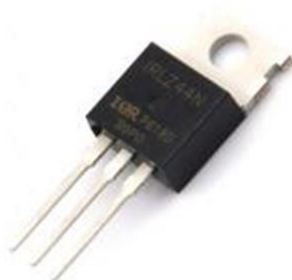


Рисунок 1.7 – MOSFET для керування навантаженням IRLZ44N [57]

Резистивне навантаження: набір потужних резисторів з комутацією та силові MOSFET-транзистори для комутації навантаження. Переваги: проста реалізація та надійність. Недоліки: зміна струму розряду при зміні напруги акумулятора [21-23].

Компонентами для вимірювання струму слугують шунтовий резистор низького опору (0,01-0,1 Ом), підсилювач для вимірювання падіння напруги на шунті (наприклад, INA219, INA226).

Переваги: висока точність вимірювання струму, можливість автоматичної калібрування. Недоліки: необхідність додаткових компонентів (рисунок 1.8).

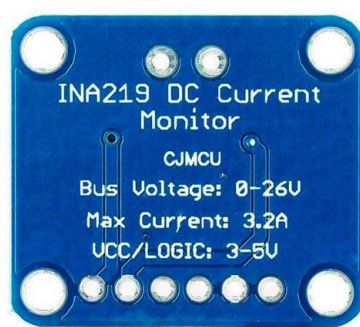


Рисунок 1.8 – Модуль INA219 для вимірювання струму, напруги та потужності [58]

Компонентами для комутації слугують реле або MOSFET-транзистори для підключення/відключення акумулятора, драйвери для керування комутацією, захисні діоди та RC-снаббери.

Переваги: автоматизація процесу тестування, захист від коротких замикань. Недоліки: додаткова складність схеми.

Для вимірювання температури було використано блок вимірювання температури, який здійснює контроль температури акумулятора під час тестування для запобігання перегріву та підвищення точності вимірювань. Реалізований на основі цифрового датчика температури DS18B20 (рисунок 1.9).

Кнопками керування є тактові кнопки зі схемами захисту від брязкоту контактів та енкодер для навігації по меню. Переваги: забезпечення взаємодії з користувачем. Недоліки: необхідність обробки натискань в програмному забезпеченні.

Індикаторами стану є світлодіоди різних кольорів для індикації стану системи та результатів тестування, зумер для звукової сигналізації. Переваги: швидке інформування про стан системи та результати тестування. Недоліки: додаткове енергоспоживання.

Інтерфейсом зв'язку з комп'ютером є Bluetooth-модуль або Wi-Fi-модуль для бездротового з'єднання. Переваги: можливість збереження та аналізу результатів на комп'ютері. Недоліки: додаткові компоненти, необхідність розробки програмного забезпечення для комп'ютера [24, 25].

1.5 Висновки до першого розділу

Аналіз літературних джерел та існуючих рішень у сфері контролю параметрів Li-Ion акумуляторів типу 18650 дозволяє зробити наступні висновки.

Li-Ion акумулятори типу 18650 широко використовуються в різноманітних галузях, що зумовлює високу актуальність розробки доступних та ефективних систем контролю їх параметрів та відбраковки неякісних елементів.

Основними параметрами, що підлягають контролю для визначення якості та стану Li-Ion акумуляторів, є напруга розімкненого кола, ємність та внутрішній опір. Ці параметри дозволяють комплексно оцінити стан акумулятора та виявити можливі дефекти.

Існуючі методи контролю параметрів акумуляторів можна поділити на ручні, напівавтоматизовані та автоматизовані. Кожен з них має свої переваги та недоліки, однак для малих підприємств та сервісних центрів оптимальним є автоматизований метод з використанням доступних компонентів.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На ринку представлено різноманітне обладнання для контролю параметрів акумуляторів, від промислових систем високої вартості до простих тестерів. Однак існує потреба в розробці доступної автоматизованої системи, що забезпечить комплексний контроль параметрів та автоматичну відбраковку неякісних елементів.

Мікроконтролер ATmega328 має достатні функціональні можливості для реалізації системи контролю параметрів Li-Ion акумуляторів типу 18650, включаючи вимірювання напруги, внутрішнього опору та ємності. Його доступність та простота програмування через платформу Arduino роблять його оптимальним вибором для даного проекту.

Для вимірювання основних параметрів акумуляторів необхідно правильно підібрати додаткові компоненти, такі як дільники напруги, операційні підсилювачі, схеми навантаження та комутації, а також компоненти інтерфейсу користувача.

Отже, розробка автоматизованої системи контролю параметрів та відбраковки Li-Ion акумуляторів типу 18650 на базі мікроконтролера ATmega328 є актуальною задачею, що дозволить створити доступне та ефективне рішення для малих підприємств, сервісних центрів та індивідуальних користувачів.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ

2.1 Розробка функціональної та структурної схем системи

Аналіз, який був проведений вище, дозволяє розробити електричну структурну схему та визначити такі компоненти програмно-технічного засобу (рисунок 2.1):

- акумулятор типу 18650;
- мікроконтролер АТМega328;
- вимірювання напруги та ємності;
- керування навантаженням;
- вивід інформації на дисплей.



Рисунок 2.1 – Схема електрична структурна

На основі аналізу вимог до системи автоматизованого контролю параметрів та відбраковки Li-Ion акумуляторів типу 18650 розроблено функціональну схему системи, що включає наступні основні блоки.

Блок мікроконтролера є центральним елементом системи, що здійснює керування усіма процесами, обробку даних та прийняття рішень щодо відбраковки акумуляторів. Ядром блоку є мікроконтролер ATmega328.

Блок живлення забезпечує стабільну напругу живлення для всіх компонентів системи. Включає стабілізатори напруги 5В для живлення мікроконтролера та 3,3В для низьковольтних компонентів, а також захисні елементи.

Блок контактів та фіксації акумулятора забезпечує надійне підключення акумулятора до системи та його фіксацію під час вимірювань. Включає пружинні контакти, механізм фіксації та датчик наявності акумулятора.

Блок вимірювання напруги здійснює вимірювання напруги акумулятора у режимі холостого ходу. Складається з високоточного дільника напруги, буферного підсилювача та схеми захисту від перенапруги.

Блок комутації режимів забезпечує перемикання між різними режимами вимірювання (напруга холостого ходу, внутрішній опір, ємність). Реалізований на основі силових MOSFET-транзисторів та реле.

Блок навантаження та вимірювання струму забезпечує контрольоване навантаження акумулятора при вимірюванні внутрішнього опору та ємності, а також вимірювання струму розряду. Включає електронне навантаження на основі MOSFET-транзисторів, схему стабілізації струму та прецизійний датчик струму.

Блок вимірювання внутрішнього опору - спеціалізований блок для визначення внутрішнього опору акумулятора методом короткочасного навантаження з вимірюванням падіння напруги. Включає комутаційні елементи, схему вибірки-зберігання та диференціальний підсилювач.

Блок вимірювання температури здійснює контроль температури акумулятора під час тестування для запобігання перегріву та підвищення точності вимірювань. Реалізований на основі цифрового датчика температури DS18B20.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Блок індикації та інтерфейсу користувача забезпечує відображення інформації, введення даних та взаємодію з користувачем. Включає РК-дисплей 20x4 символи з інтерфейсом I2C, кнопки керування, світлодіодні індикатори та зумер.

Блок зв'язку з комп'ютером забезпечує можливість передачі даних на комп'ютер для подальшого аналізу та збереження результатів тестування. Реалізований на основі конвертера USB-UART [26-32].

Функціональна схема системи передбачає взаємодію всіх блоків під керуванням мікроконтролера ATmega328, що забезпечує ініціалізацію системи та самодіагностику при включенні, автоматичне визначення наявності акумулятора в тримачі, вимірювання напруги розімкненого кола акумулятора, внутрішнього опору методом короткочасного навантаження, вимірювання ємності акумулятора методом контрольованого розряду, контроль температури акумулятора під час тестування, аналіз вимірних параметрів та прийняття рішення щодо відбраковки, відображення результатів тестування на дисплеї, збереження результатів тестування у внутрішній пам'яті, передача даних на комп'ютер для подальшого аналізу (за запитом), звукова та світлова індикація результатів тестування.

Розроблена функціональна схема дозволяє реалізувати ефективну та надійну систему автоматизованого контролю параметрів Li-Ion акумуляторів типу 18650 з використанням доступних компонентів та мікроконтролера ATmega328.

Показані зв'язки між блоками, де суцільні лінії позначають потоки даних, а пунктирні лінії позначають сигнали керування.

Крім того, функціональна схема (рисунок 2.2) передбачає можливість розширення та адаптації до різних типів акумуляторів або змін у вимогах тестування. Наприклад, можливе підключення додаткових модулів, таких як Bluetooth або Wi-Fi, для бездротової передачі даних або віддаленого керування процесом перевірки. Також передбачена підтримка оновлення прошивки мікроконтролера через UART-інтерфейс, що забезпечує гнучкість у модернізації системи без необхідності заміни апаратного забезпечення.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

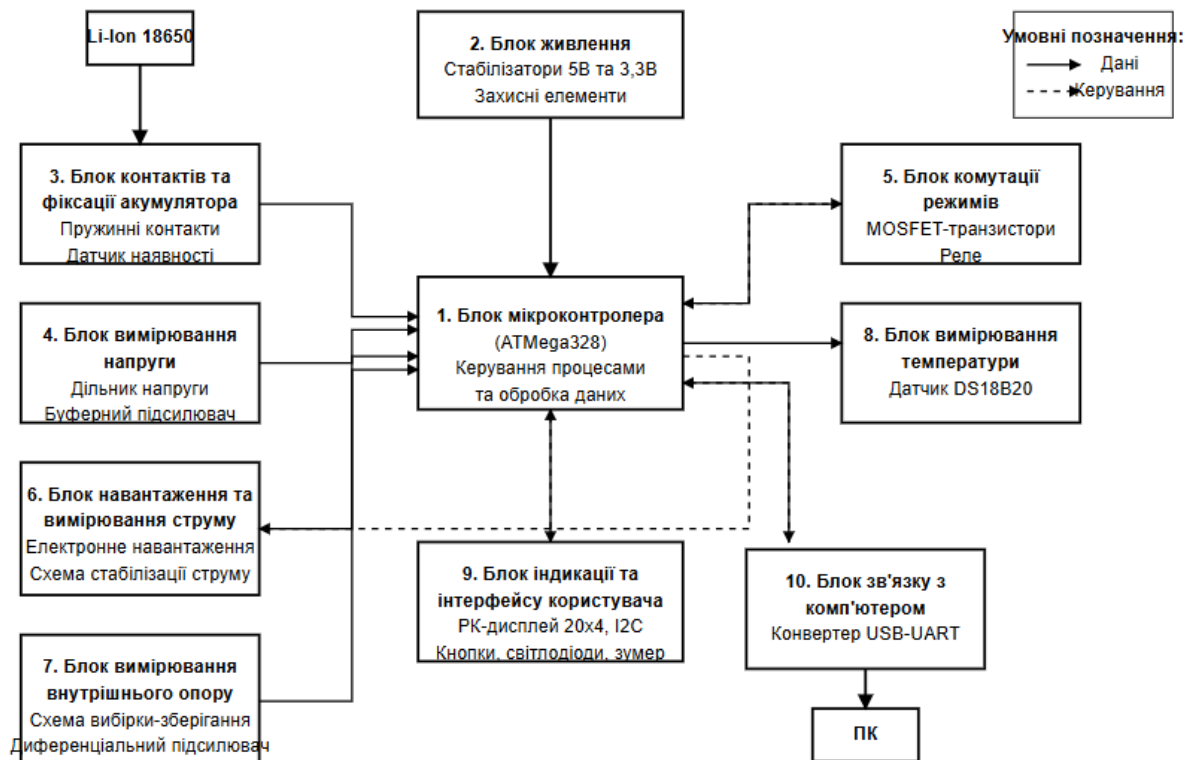


Рисунок 2.2 – Схема електрична функціональна

2.2 Розробка принципової електричної схеми системи

На основі розробленої функціональної схеми створено принципову електричну схему системи автоматизованого контролю параметрів та відбраковки Li-Ion акумуляторів типу 18650. Принципова схема включає всі необхідні компоненти та їх з'єднання для реалізації функціонального призначення системи.

У якості основного керуючого елемента системи використано мікроконтролер ATMega328P (рисунок 2.3) у корпусі TQFP-32.

Для забезпечення стабільної роботи мікроконтролера використано кварцовий резонатор X1 на 16 МГц з двома керамічними конденсаторами C1 і C2 ємністю 22 пФ для забезпечення стабільного тактування, конденсатор C3 для фільтрації живлення мікроконтролера, резистор R1 для підтягування лінії RESET до високого рівня, роз'єм для програмування ICSP (JP1) та схема автоматичного скидання при

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

програмуванні через UART, що складається з конденсатора C4 та діода D1 (1N4148) [33-37].

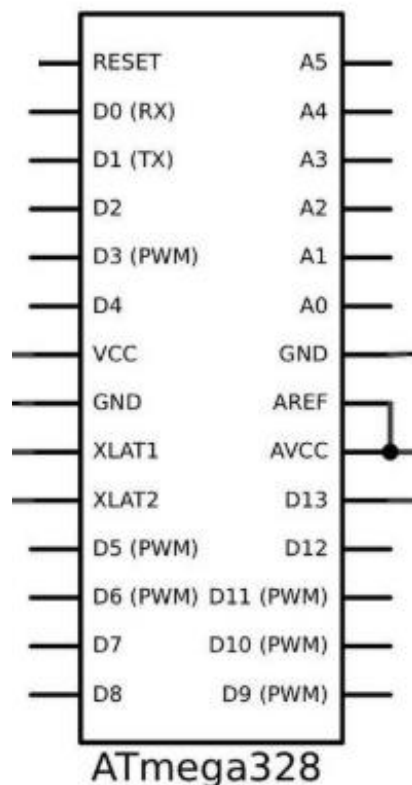


Рисунок 2.3 – Схематичний вигляд АТМегі328

Мікроконтролер працює від напруги живлення 5В, що подається на виводи VCC та AVCC. Для забезпечення стабільної роботи аналого-цифрового перетворювача вивід AREF підключено до конденсатора C5. Призначення виводів мікроконтролера: PD0 та PD1 інтерфейс UART для зв'язку з комп'ютером. PD2-PD7 для керування навантаженням, комутацією режимів та індикацією. Аналогові входи PC0-PC5 використовуються для вимірювання напруги, струму та інших параметрів, а PB0-PB5 для керування дисплеєм, кнопками та іншими периферійними пристроями.

Для забезпечення стабільного живлення всіх компонентів системи розроблено блок живлення, що складається з наступних елементів:

1. Роз'єм X1 для підключення зовнішнього джерела живлення (9-12В).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2. Діод D2 (1N4007) для захисту від зворотної полярності.
3. Конденсатор C6 (25В) для фільтрації вхідної напруги.
4. Стабілізатор напруги U2 (LM7805) для отримання стабільної напруги 5В.
5. Конденсатори C7 та C8 для фільтрації вихідної напруги стабілізатора 5В.
6. Стабілізатор напруги U3 (LM3940) для отримання стабільної напруги 3,3В.
7. Конденсатори C9 та C10 для фільтрації вихідної напруги стабілізатора 3,3В.
8. Світлодіод LED1 з обмежувальним резистором R2 для індикації наявності живлення [38-40].

Для вимірювання внутрішнього опору акумулятора використано метод короткочасного навантаження з вимірюванням падіння напруги. Схема складається з наступних компонентів: силовий MOSFET-транзистор Q1 (IRLZ44N) для комутації навантаження; резистор навантаження R5 (1 Ом, 10 Вт) для створення контрольованого навантаження; драйвер MOSFET на транзисторі Q2 (BC547) та резисторах R6 і R7; схема вибірки-зберігання на операційному підсилювачі U4B (друга половина MCP6002), конденсаторі C12 та аналоговому ключі U5 (ADG419), а також прецизійний диференціальний підсилювач на операційному підсилювачі U6 (INA219) для вимірювання падіння напруги під навантаженням;

Керування процесом вимірювання внутрішнього опору здійснюється мікроконтролером через вивід PD2, який керує драйвером MOSFET-транзистора та схемою вибірки-зберігання. Результат вимірювання надходить на аналоговий вхід PC1 мікроконтролера.

Для вимірювання ємності акумулятора розроблено схему контрольованого розряду з вимірюванням струму: електронне навантаження на основі MOSFET-транзистора Q3 (IRLZ44N) (рисунок 2.4) та операційного підсилювача U7A (половина LM358) (рисунок 2.5); схема стабілізації струму на основі операційного підсилювача U7B (друга половина LM358), транзистора Q4 (BC547) та резисторів

R8-R12; прецизійний датчик струму на основі шунта R13 та інструментального підсилювача U8 (INA126); потенціометр R14 для регулювання струму розряду.

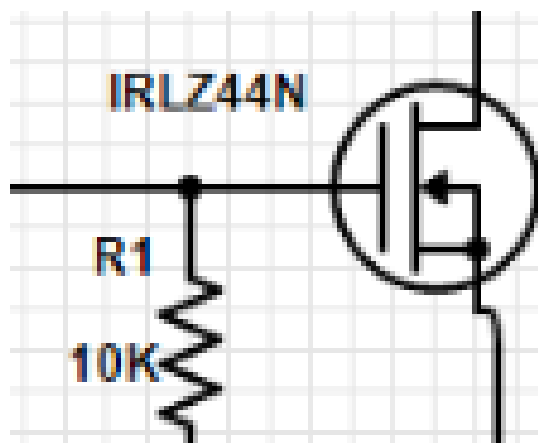


Рисунок 2.4 – Схематичний вигляд MOSFET IRLZ44N

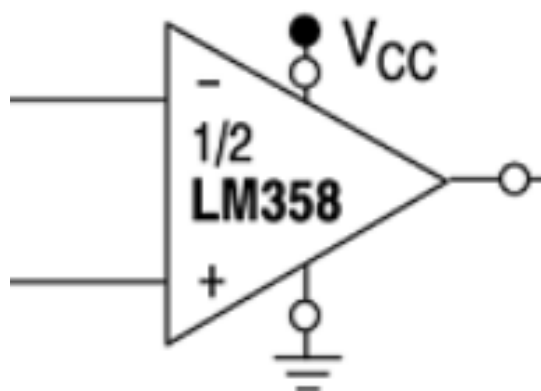


Рисунок 2.5 – Схематичний вигляд операційного підсилювача LM358

Керування схемою вимірювання ємності здійснюється мікроконтролером через вивід PD3. Сигнал з виходу датчика струму надходить на аналоговий вхід PC2 мікроконтролера. Для розрахунку ємності акумулятора використовується вимірювання часу розряду від повної зарядки до граничної напруги (зазвичай 2,8-3,0 В) при постійному струмі розряду.

Для контролю температури акумулятора під час тестування використано цифровий датчик температури U9 (DS18B20) з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ та резистор підтягування R15 для інтерфейсу 1-Wire. Датчик температури підключено до виводу PD4 мікроконтролера. Вимірювання температури використовується для

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

запобігання перегріву акумулятора під час тестування та підвищення точності вимірювань.

Для забезпечення взаємодії з користувачем розроблено схему індикації та інтерфейсу: РК-дисплей LCD1 (20x4 символи) (рисунок 2.6) з модулем I2C-інтерфейсу на базі PCF8574; кнопки керування SW1-SW4 з резисторами підтягування R16-R19; світлодіодні індикатори (рисунок 2.7) LED2 (зелений), LED3 (жовтий) та LED4 (червоний) з обмежувальними резисторами R20-R22, а також зумер BZ1 з транзисторним ключем на Q5 (BC547) та резистором R23. РК-дисплей підключено до виводів PB0 [41-42]. Схема електрична принципова зображена на рисунку 2.8.

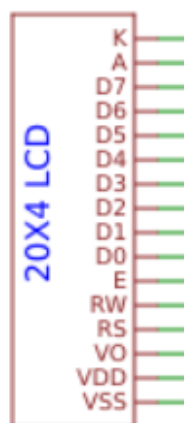


Рисунок 2.6 – Схематичний вигляд LCD дисплею



Рисунок 2.7 – Схематичний вигляд LED-світлодіоду

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Світлодіодна індикація з використанням набору RGB-світлодіодів для швидкої візуальної оцінки стану системи та результатів контролю. Зелений сигнал означає, що акумулятор пройшов всі тести, параметри в нормі. Жовтий - акумулятор має граничні параметри, але придатний до використання. Червоний - акумулятор не пройшов тести, підлягає відбраковці. Синій - процес тестування активний.

Кнопками керування є фізичні елементи для взаємодії з системою: кнопка «Start/Stop» для запуску та зупинки процесу тестування, кнопка «Mode» для перемикання між режимами роботи та параметрами, кнопки «+» та «-» для регулювання налаштувань та порогових значень і кнопка "Reset" для скидання системи до початкового стану.

Розроблений інтерфейс користувача має кілька режимів відображення інформації, які послідовно змінюються при натисканні кнопки «Mode».

У режимі очікування відображається привітання та готовність системи до початку тестування.

У режимі вимірювання напруги відображається поточна напруга акумулятора та її відповідність нормі.

У режимі вимірювання внутрішнього опору відображається вимірний внутрішній опір та його відповідність нормі.

У режимі тестування ємності відображається процес розряду/заряду та обчислена ємність.

У режимі результатів відображається загальний висновок про придатність акумулятора.

Режим налаштувань дозволяє змінювати порогові значення для відбраковки.

Для розширення функціональності та забезпечення взаємодії з іншими системами, блок індикації та інтерфейсу користувача включає UART інтерфейс, який дозволяє підключати систему до комп'ютера через USB-UART перетворювач для передачі результатів вимірювань на ПК, керування системою через термінал. оновлення програмного забезпечення та розширеного налаштування параметрів.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підключення UART інтерфейсу здійснюється до пінів D0 (RX) та D1 (TX) мікроконтролера ATmega328, що дозволяє використовувати стандартні функції Serial бібліотеки Arduino для обміну даними.

Вибір LCD дисплея 1602A з I2C модулем обумовлений тим, що він має достатню кількість символів для відображення необхідної інформації, низьке енергоспоживання порівняно з графічними дисплеями, просте підключення та керування через I2C інтерфейс, доступність, невисоку вартість, а також наявні готові бібліотеки для Arduino IDE.

RGB-світлодіоди обрані завдяки можливості відображати різні стани системи за допомогою різних кольорів та їх комбінацій, що підвищує інформативність індикації.

Використання ШІМ-керування дозволяє регулювати яскравість та змішувати кольори для отримання додаткових варіантів сигналізації.

Кнопки керування забезпечують простий і надійний спосіб взаємодії з системою без необхідності використання складних сенсорних інтерфейсів, що підвищує надійність в умовах промислового використання системи [43-45].

2.4 Блок живлення та силової частини

Блок живлення та силова частина системи забезпечують електроживлення всіх компонентів, а також формування режимів заряду та розряду акумуляторів під час тестування. Блок живлення системи має модульну структуру і складається з наступних компонентів.

Первинне джерело живлення AC/DC перетворювач з вихідною напругою 12В і струмом до 3А, що забезпечує живлення всієї системи.

Стабілізатор напруги 5В на базі мікросхеми LM7805 або більш ефективного імпульсного перетворювача MP1584 для живлення мікроконтролера та цифрових компонентів системи.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Стабілізатор напруги 3.3В на базі мікросхеми LM1117-3.3 для живлення низьковольтних компонентів (за необхідності).

Зарядний модуль, що є спеціалізованим контролером заряду Li-Ion акумуляторів з програмованим струмом заряду.

Розрядний модуль виконує електронне навантаження з регульованим струмом розряду для тестування ємності акумуляторів.

Електронні ключі для комутації зарядного та розрядного модулів і підключення акумулятора до вимірювальних ланцюгів [46-48].

Для підвищення ефективності в системі може використовуватись імпульсний понижуючий перетворювач MP1584 з ККД до 94%, що зменшує виділення тепла та підвищує енергоефективність системи.

Зарядний модуль реалізований на базі спеціалізованого контролера заряду Li-Ion акумуляторів TP4056 з додатковими компонентами для контролю процесу заряду. З особливостей він має програмований струм заряду (100-1000 мА) за допомогою резистора RPROG, метод заряду CC/CV (постійний струм/постійна напруга) для Li-Ion акумуляторів, автоматичне припинення процесу заряду при досягненні повної ємності, захист від перегріву, короткого замикання, зворотної полярності та індикація стану заряду (зарядження/заряджено).

Розрядний модуль реалізований як електронне навантаження з регульованим струмом розряду, що дозволяє точно виміряти реальну ємність акумулятора.

Основним елементом модуля є MOSFET-транзистор, керований з ШІМ-виходу мікроконтролера через драйвер. Особливостями розрядного модуля є програмований струм розряду (100-1000 мА), точне вимірювання струму розряду за допомогою шунта та підсилювача, захист від перегріву транзистора за допомогою температурного датчика та автоматичне припинення розряду при досягненні мінімальної напруги (зазвичай 2.8-3.0В).

Для забезпечення правильної послідовності тестування акумулятора система оснащена блоком комутації, що складається з реле або MOSFET-ключів. Блок комутації забезпечує підключення акумулятора до схеми вимірювання напруги,

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

схеми вимірювання внутрішнього опору, зарядного та розрядного модулів, а також відключення акумулятора від усіх ланцюгів під час заміни або при спрацюванні захисту.

Для забезпечення безпеки роботи з Li-Ion акумуляторами система оснащена кількома рівнями захисту.

Захист від зворотної полярності здійснюється за допомогою діодів Шоттки та MOSFET-транзисторів.

Захист від короткого замикання здійснюється через швидкодіючі запобіжники та електронний контроль струму.

Температурний захист у вигляді контролю температури акумулятора та силових компонентів за допомогою датчиків NTC/PTC.

Захист від перенапруги здійснюється за допомогою стабілітронів та супресорів для захисту вимірювальних ланцюгів.

Програмний захист полягає у постійному моніторингу параметрів та відключенні системи при виході за допустимі межі.

Особливостями захисних ланцюгів є швидке спрацювання при аварійних ситуаціях (менше 1 мс), багаторівнева структура захисту (апаратний та програмний), світлова, звукова індикація спрацювання захисту та можливість ручного та автоматичного перезапуску системи після усунення несправності.

Система також включає в себе джерела живлення резервного типу, що забезпечують живлення контролера та ключових вузлів у разі основного знеструмлення або перебоїв напруги. Це дозволяє уникнути втрати даних під час тестування та забезпечити безпечне завершення процесів заряду або розряду.

Уся електроніка розміщена на друкованій платі з мідними доріжками відповідного перетину для зменшення опору та тепловтрат. Крім того, система має модульну архітектуру, яка дозволяє легко замінювати або модернізувати окремі вузли [49-50].

Логічна схема алгоритму роботи зображена на рисунку 2.9.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

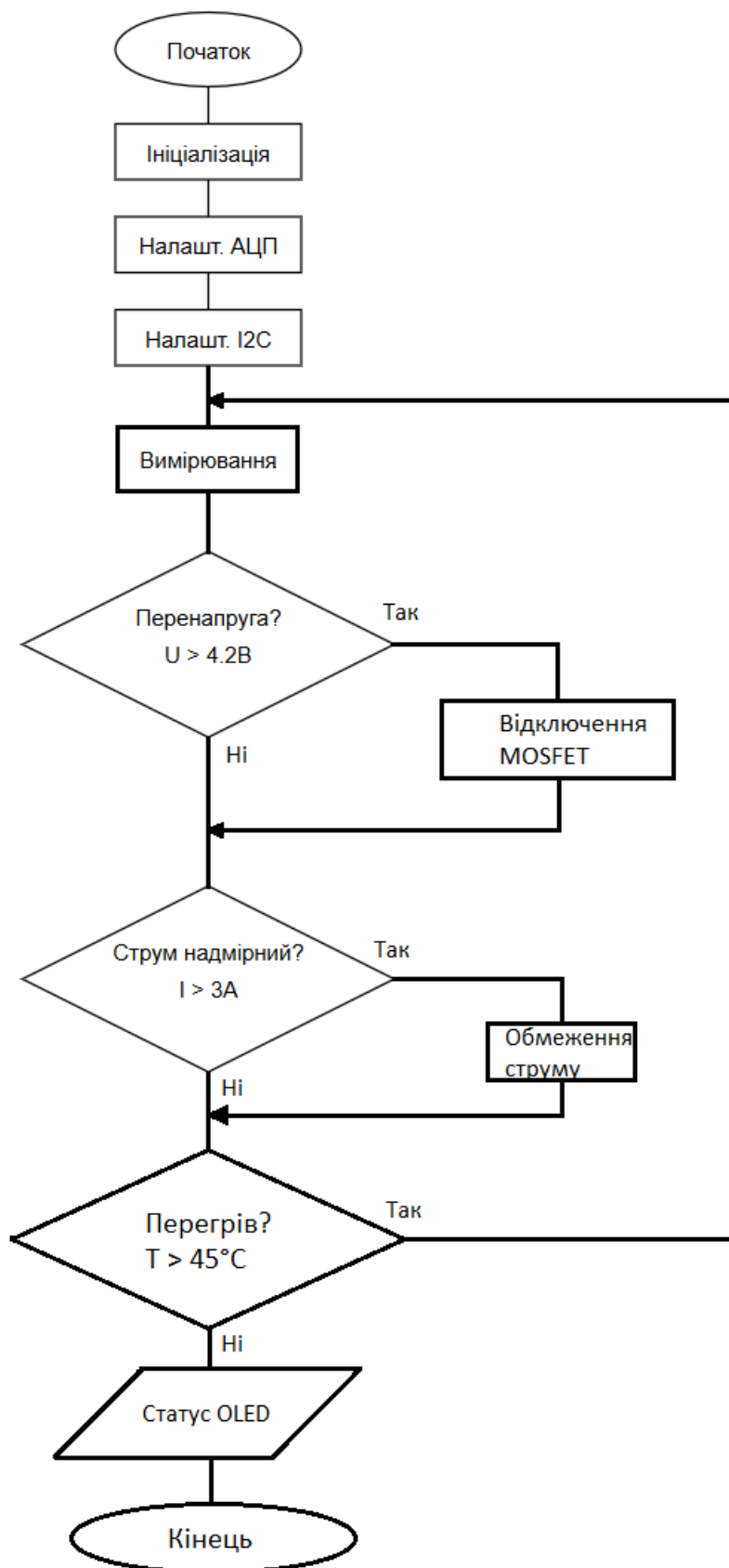


Рисунок 2.9 – Схема алгоритму роботи

2.5 Конструкція пристрою та механічна частина

Система автоматизованого контролю параметрів Li-Ion акумуляторів типу 18650 виконана у вигляді настільного приладу з ергономічним розташуванням органів керування та індикації.

Корпус пристрою виготовлений з ударостійкого пластику ABS з вентиляційними отворами для відведення тепла. Орієнтовні габаритні розміри приладу: довжина 200 мм, ширина 150 мм, висота 80 мм.

Особлива увага приділена розробці надійного та зручного тримача для акумуляторів типу 18650, який забезпечує надійний електричний контакт з позитивним та негативним виводами акумулятора, легку установку та вилучення акумулятора, компенсацію різниці в розмірах акумуляторів різних виробників, стійкість до високих температур та захист від випадкового короткого замикання. Тримач акумулятора обладнаний підпружиненими контактами, що забезпечують стабільний електричний зв'язок навіть при вібрації або механічних впливах.

Для забезпечення терморегуляції силових компонентів (особливо транзисторів розрядного модуля) передбачена система активного охолодження, яка включє алюмінієві радіатори з ребрами охолодження для MOSFET-транзисторів та стабілізаторів напруги, вентилятор діаметром 50 мм з автоматичним керуванням швидкості обертання залежно від температури, термоінтерфейс (термопаста або термопрокладки) для ефективного відведення тепла і температурні датчики для моніторингу стану системи охолодження.

Вентилятор підключається через транзисторний ключ до ШІМ-виходу мікроконтролера, що дозволяє плавно регулювати швидкість обертання для підтримки оптимальної температури та зменшення рівня шуму.

Внутрішнє компонування системи виконано з урахуванням вимог електромагнітної сумісності та теплового режиму. Силова частина розташована в нижній частині корпусу з радіаторами охолодження. Цифрова частина (керуючий

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроконтролер та периферія) розташована в верхній частині корпусу, екранована від силової частини.

Блок індикації та керування розташований на фронтальній панелі пристрою для зручного доступу оператора і блок живлення, який розташований у задній частині корпусу з вентиляційними отворами. Друковані плати закріплені за допомогою стійок з ізоляційного матеріалу, що забезпечує механічну міцність та електричну ізоляцію.

На фронтальній панелі пристрою розташовані наступні компоненти системи: РК-дисплей 1602А для відображення інформації, RGB-світлодіоди для індикації стану системи, кнопки керування (Start/Stop, Mode, «+», «-», Reset), тримач акумулятора з фіксатором та індикатор живлення.

На задній панелі розташовані роз'єм для підключення живлення (DC Jack), USB-роз'єм для підключення до комп'ютера, перемикач живлення, слот для microSD-карти (за наявності) та вентиляційні отвори.

При розробці конструкції пристрою особлива увага приділена ергономіці та зручності використання. Тримач акумулятора розташований з нахилом для зручної установки та вилучення акумулятора. Дисплей встановлений під оптимальним кутом для читання інформації сидячим оператором.

Кнопки керування мають тактильний зворотний зв'язок та розташовані в логічній послідовності. Індикацією є світлодіоди, які мають достатню яскравість, але не викликають дискомфорту при тривалій роботі. Корпус пристрою має гумові ніжки для стабільного розташування на робочій поверхні та зменшення вібрації.

2.6 Висновки до другого розділу

У другому розділі розроблено апаратну частину системи автоматизованого контролю параметрів та відбраковки Li-Ion акумуляторів типу 18650 на базі мікроконтролера ATmega328. Розроблені компоненти системи забезпечують ефективний контроль ключових параметрів акумуляторів (напруга, внутрішній

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

опір, ємність), автоматизацію процесу тестування та відбраковки, зручний інтерфейс користувача з візуальною індикацією результатів, безпеку роботи з потенційно небезпечними Li-Ion акумуляторами та можливість зберігання і аналізу результатів тестування.

Запропоновані схемо-технічні рішення оптимізовані за критеріями точності вимірювань, енергоефективності та вартості реалізації. Конструкція пристрою забезпечує зручність експлуатації, надійність та довговічність.

Основними перевагами розробленої апаратної платформи є модульна архітектура, що дозволяє легко модифікувати та розширювати функціональність системи; використання доступних компонентів та мікросхем, що спрощує ремонт та обслуговування, а також наявність захисних ланцюгів, що мінімізує ризик аварійних ситуацій та оптимальне співвідношення функціональності, точності та вартості.

Розроблені схемо-технічні рішення повністю відповідають поставленим завданням та забезпечують надійну платформу для реалізації програмного забезпечення системи контролю параметрів акумуляторів.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА ATMEGA328

3.1 Вибір середовища розробки та архітектура програмного забезпечення

Для розробки програмного забезпечення системи автоматизованого контролю параметрів Li-Ion акумуляторів було обрано середовище Arduino IDE через сумісність з апаратною платформою (середовище має вбудовану підтримку мікроконтролера ATmega328, що використовується в розробленій системі), простоту використання (інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що спрощує процес розробки та налагодження програми), наявність готових бібліотек для роботи з периферійними пристроями (дисплеї, датчики, SD-карти), можливість розробки програмного забезпечення на різних операційних системах (Windows, Linux, macOS), можливість модифікації стандартних бібліотек відповідно до вимог проекту та активну спільноту розробників, що надає доступ до великої бази знань та готових рішень.

Мовою програмування обрано C++, що дозволяє ефективно використовувати обмежені ресурси мікроконтролера та забезпечує високу продуктивність системи.

Програмне забезпечення системи розроблено за модульним принципом, що забезпечує легкість модифікації та розширення функціональності, можливість незалежного тестування окремих модулів та підвищення надійності та зручності підтримки коду.

Загальна архітектура програмного забезпечення представлена модулями ініціалізації, вимірювання параметрів, керування процесами, інтерфейсу користувача, зберігання та обміну даними, аналізу, захисту та безпеки.

Модуль ініціалізації та налаштування відповідає за початкове налаштування мікроконтролера та периферійних пристроїв.

Модуль вимірювання параметрів забезпечує отримання даних з аналогових та цифрових сенсорів, їх обробку та фільтрацію.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модуль керування процесами заряду/розряду контролює процеси заряду та розряду акумулятора під час тестування.

Модуль інтерфейсу користувача забезпечує взаємодію з оператором через дисплей, світлодіоди та кнопки.

Модуль зберігання та обміну даними відповідає за запис результатів у EEPROM або на SD-карту та обмін даними з ПК.

Модуль аналізу та прийняття рішень реалізує алгоритми аналізу параметрів акумулятора та прийняття рішення про відбраковку.

Модуль захисту та безпеки забезпечує контроль аварійних ситуацій та захист системи і акумуляторів.

Взаємодія між модулями здійснюється через відповідні інтерфейси (API), що забезпечує низьку зв'язність та високу згуртованість коду.

3.2 Основні функції та алгоритми системи контролю

Вимірювання напруги акумулятора здійснюється за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) мікроконтролера ATmega328 з використанням подільника напруги для приведення діапазону напруг акумулятора (2.8-4.2В) до робочого діапазону АЦП (0-5В).

Алгоритм вимірювання напруги (рисунок 3.1) включає наступні кроки: комутація акумулятора до вимірювального ланцюга, очікування стабілізації напруги (5-10 мс), виконання серії вимірювань (10-20 значень), фільтрація результатів за методом ковзного середнього, перерахунок результату АЦП у вольти з урахуванням коефіцієнта подільника, корекція результату з урахуванням калібрувальних коефіцієнтів та збереження результату в пам'яті.

Цей підхід забезпечує високу точність та повторюваність результатів навіть при наявності перешкод живлення. Для зменшення похибки важливо враховувати температурну залежність елементів подільника напруги, а також нестабільність опорної напруги АЦП, використовуючи внутрішнє або зовнішнє опорне джерело.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

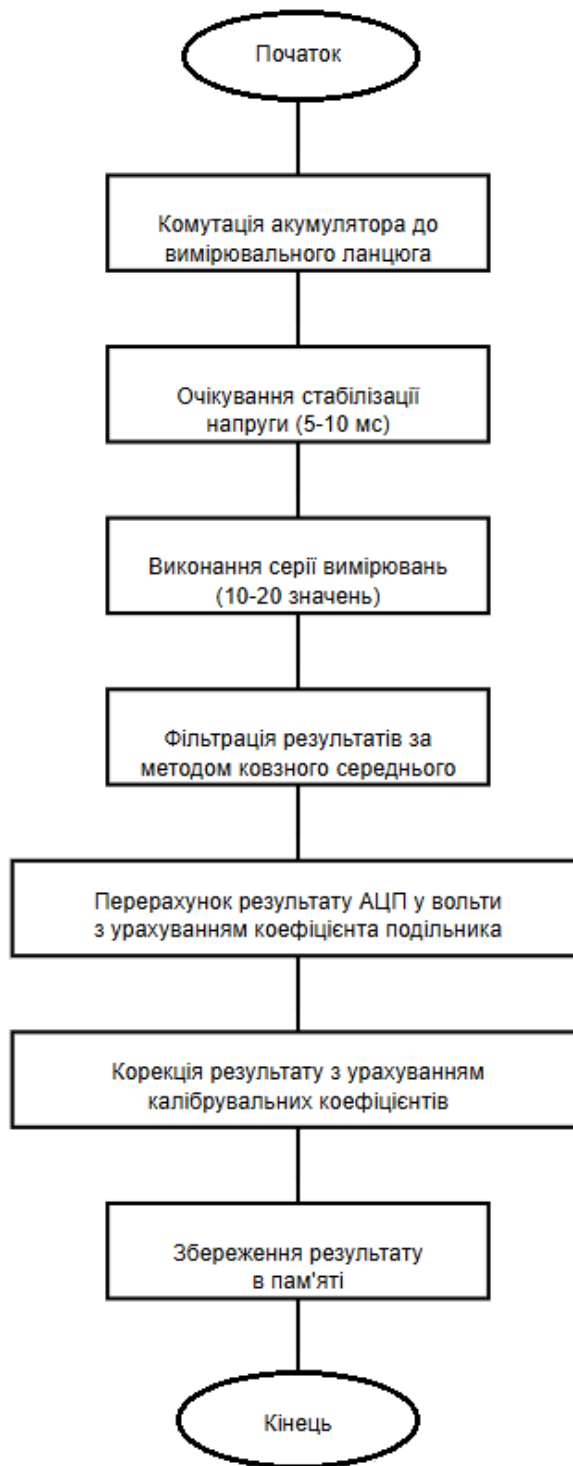


Рисунок 3.1 – Схема алгоритму вимірювання напруги

Для вимірювання внутрішнього опору Li-Ion акумулятора використовується метод короткочасного навантаження з наступним аналізом падіння напруги.

Алгоритм прийняття рішення реалізовано у функції `measureBatteryVoltage()`.

Реалізовано вимірювання напруги на Li-Ion акумуляторі для оцінки його внутрішнього опору за допомогою методу короткочасного навантаження. У функції `measureBatteryVoltage()` передбачено кілька кроків для правильного збору даних.

Спочатку визначається кількість вимірювань, що потрібно зробити, зберігаючи значення в масиві `readings`. Ініціалізується змінна `readIndex`, яка слугуватиме для індексації масиву, а також змінна `total` для накопичення значень.

Далі здійснюється підключення акумулятора до вимірювального ланцюга через пін реле, що активує підключення акумулятора до системи. Після цього надається невелика затримка (10 мілісекунд), щоб напруга стабілізувалася.

Далі виконується серія вимірювань напруги за допомогою аналого-цифрового перетворювача, де значення напруги записується в масив `readings`.

Цикл виконується десять разів, що дозволяє отримати кілька даних для подальшого аналізу і забезпечує більш точні вимірювання, знижуючи вплив випадкових шумів чи похибок.

Після завершення циклу проводиться обробка отриманих значень для обчислення середньої напруги та інших параметрів, необхідних для оцінки стану акумулятора.

Алгоритм вимірювання внутрішнього опору (рисунок 3.2) включає наступні кроки: вимірювання напруги без навантаження (U_0), підключення навантаження, очікування стабілізації, вимірювання напруги під навантаженням (U_1), відключення навантаження, розрахунок опору та корекція результату.

Важливо забезпечити точне вимірювання струму навантаження, що досягається шляхом попереднього калібрування або додаткового вимірювання напруги на шунті. Отриманий результат коригується з урахуванням втрат у комутаційних елементах та похибок вимірювання, що дозволяє точно визначити внутрішній опір навіть для слабо деградованих елементів.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

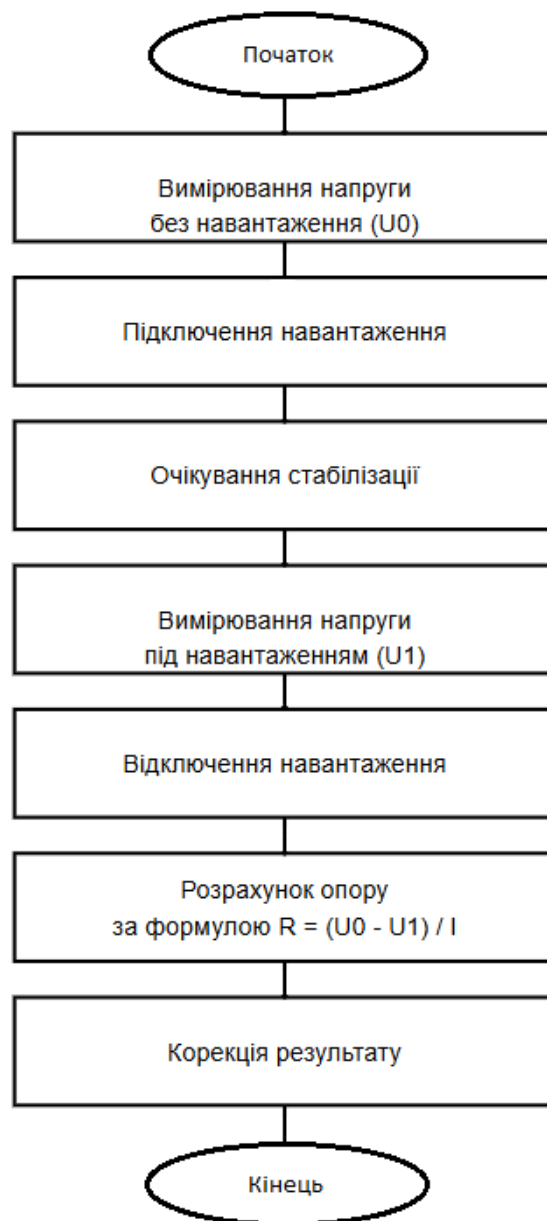


Рисунок 3.2 – Схема алгоритму вимірювання опору

У функції `measureInternalResistance()` реалізовано вимірювання внутрішнього опору акумулятора з урахуванням температурної корекції.

Спочатку здійснюється вимірювання напруги без навантаження, для чого викликається функція `measureBatteryVoltage()`, результат якого зберігається в змінній `voltageNoLoad`.

Після цього підключається навантаження до акумулятора через цифровий пін, що позначений як LOAD_PIN, де встановлюється високий рівень, що активує навантаження.

Для стабілізації режиму навантаження на кілька мілісекунд робиться затримка, щоб напруга в ланцюзі стабілізувалася. Після цього знову виконується вимірювання напруги на акумуляторі під навантаженням і результат зберігається у змінній voltageWithLoad.

Далі навантаження відключається, встановлюючи низький рівень на піні LOAD_PIN.

Наступним кроком є розрахунок внутрішнього опору акумулятора за допомогою формули, де різниця між напругою без навантаження та під навантаженням ділиться на значення струму навантаження, яке задано константою LOAD_CURRENT. Для того, щоб результат був у міліомах, отримане значення множиться на 1000.

Після цього враховується температурний вплив на внутрішній опір акумулятора. Для цього вимірюється температура навколишнього середовища через функцію measureTemperature(), а потім значення внутрішнього опору коригується з урахуванням температури за допомогою коефіцієнта температурної корекції TEMP_CORRECTION_FACTOR. Це дозволяє отримати більш точний результат, оскільки внутрішній опір акумулятора змінюється залежно від температури.

В кінці функція повертає коригований внутрішній опір акумулятора, який використовується для подальших розрахунків та моніторингу стану батареї.

Цей алгоритм дозволяє точно визначити внутрішній опір акумулятора з урахуванням впливу навантаження та температури, що важливо для забезпечення довговічності та ефективності роботи акумуляторних батарей.

Для вимірювання ємності акумулятора використовується метод контрольованого розряду з постійним струмом.

Алгоритм вимірювання ємності включає наступні кроки: заряд до повної ємності, установка розрядного струму, контроль напруги, вимірювання часу розряду, розрахунок ємності та корекція результату (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Схема алгоритму вимірювання ємності

У функції `measureCapacity()` реалізовано алгоритм вимірювання ємності акумулятора за допомогою методу контрольованого розряду з постійним струмом.

Першим етапом є повне заряджання акумулятора, для чого активується зарядний модуль через пін реле, встановлюючи високий рівень на RELAY_CHARGE_PIN. Програма чекає, поки акумулятор не буде повністю заряджений, що перевіряється через виклик функції isFullyCharged().

Під час зарядки постійно вимірюється напруга за допомогою функції measureBatteryVoltage() і струм заряджання через measureChargeCurrent(), а дані оновлюються на дисплеї за допомогою функції updateDisplay().

Коли акумулятор досягає повного заряду, зарядний модуль відключається, і програма чекає 1000 мілісекунд для стабілізації перед початком процесу розряду.

Далі активується розрядний модуль через пін реле RELAY_DISCHARGE_PIN і встановлюється значення розрядного струму за допомогою функції setDischargeCurrent().

Наступним кроком запускається таймер з допомогою функції millis(), який фіксує час початку процесу розряду. Програма в циклі виконує вимірювання напруги та струму розряду за допомогою функцій measureBatteryVoltage() і measureDischargeCurrent().

Кожного разу, коли вимірюється напруга, перевіряється, чи не досягла вона мінімального порогу, визначеного як MIN_VOLTAGE. Якщо цей поріг досягнутий, розряд вважається завершеним, і цикл припиняється.

Крім того, кожного разу розраховується поточна ємність акумулятора, враховуючи час, що минув з моменту початку розряду. Розрахунок ємності здійснюється за формулою, де множиться струм на час розряду, виражений у мілісекундах, і результат переводиться в міліампер-години (мА·год).

Якщо температура перевищує допустимий рівень, визначений як MAX_TEMPERATURE, розряд також припиняється, а ємність встановлюється рівною нулю для позначення помилки вимірювання.

Під час процесу розряду відображаються актуальні дані на дисплеї для моніторингу стану акумулятора.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після завершення процесу розряду розрядний модуль відключається, і виконується остаточний розрахунок ємності, який повертається з функції.

Оскільки всі вимірювання проводяться при постійному струмі, алгоритм дозволяє точно оцінити ємність акумулятора, враховуючи всі можливі впливи, такі як температура та мінімальний рівень напруги. Цей метод є стандартним для перевірки характеристик акумуляторів, що забезпечує точність та надійність результатів.

Рішення про придатність або відбраковку акумулятора приймається на основі аналізу всіх вимірних параметрів та порівняння їх з допустимими межами.

Алгоритм прийняття рішення реалізовано у функції `isAcceptable()`, яка відповідає за ухвалення рішення щодо придатності акумулятора до подальшої експлуатації.

У межах цієї функції відбувається послідовне зчитування трьох основних параметрів: напруги, внутрішнього опору та ємності батареї, що реалізується за допомогою викликів відповідних функцій вимірювання.

Після отримання цих значень кожен параметр перевіряється на відповідність встановленим межах: напруга повинна бути в межах від мінімально допустимого до максимально допустимого значення, внутрішній опір має бути не вищим за максимальний допустимий, а ємність не меншою за мінімальну прийнятну межу.

Результати вимірювань та перевірок фіксуються через функцію логування, що дозволяє зберігати дані для подальшого аналізу або аудиту.

Остаточне рішення базується на логічному поєднанні результатів усіх трьох перевірок: функція повертає істинне значення лише в тому випадку, якщо напруга, опір та ємність акумулятора відповідають усім критеріям придатності. Ця функція забезпечує автоматизовану оцінку технічного стану акумулятора.

Модуль ініціалізації відповідає за початкове налаштування мікроконтролера та периферійних пристроїв. Його основними функціями є ініціалізація послідовного порту, ініціалізація виводів мікроконтролера, встановлення початкового стану виводів, ініціалізація дисплея, завантаження налаштувань з

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

EEPROM, ініціалізація SD-карти (якщо використовується), перевірка калібрувальних даних, самотестування системи та виведення повідомлення про готовність до роботи.

Модуль вимірювання параметрів забезпечує отримання даних про напругу, струм, температуру та внутрішній опір акумулятора. Перелік та опис його основних функцій:

- `measureBatteryVoltage()` - вимірювання напруги;
- `measureChargeCurrent()` - вимірювання струму заряду;
- `measureDischargeCurrent()` - вимірювання струму розряду;
- `measureTemperature()` - вимірювання температури;
- `measureInternalResistance()` - вимірювання внутрішнього опору;
- `measureCapacity()` - вимірювання ємності.

Модуль керування процесами заряду/розряду відповідає за контроль режимів тестування акумулятора. Перелік та опис його основних функцій:

- `setDischargeCurrent()` - встановлення струму розряду;
- `isFullyCharged()` - перевірка повного заряду;
- `startCharging()` - керування процесом заряду;
- `startDischarging()` - керування процесом розряду.

Модуль інтерфейсу користувача забезпечує взаємодію з оператором через дисплей, кнопки та світлодіоди. Перелік та опис його основних функцій:

- `handleButtons()` - обробка натискання кнопок;
- `updateDisplay()` - оновлення інформації на дисплеї.

3.3 Оптимізація програмного коду

Оскільки мікроконтролер ATmega328 має обмежені ресурси (32 КБ флеш-пам'яті, 2 КБ SRAM, 1 КБ EEPROM), важлива оптимізація програмного коду.

Оптимізація використання оперативної пам'яті (SRAM) відбувається за рахунок модифікатора PROGMEM для зберігання рядкових констант у флеш-пам'яті та масивів символів фіксованої довжини замість типу String.

Оптимізація використання флеш-пам'яті відбувається за рахунок макросу F() для рядкових констант, об'єднання логічно пов'язаних функцій та бітових операцій замість логічних виразів.

Покращення швидкодії системи відбувається за рахунок використання попередньо обчислених значень, заміни множення/ділення на зсуви для степенів двійки та прямої роботи з регістрами для швидкого доступу до портів.

Оптимізація роботи з периферійними пристроями відбувається за рахунок оновлення тільки змінених даних на дисплеї та буферизації даних при записі на SD-карту.

Зниження енергоспоживання реалізовано в управлінні режимами роботи мікроконтролера.

Оптимізація алгоритмів вимірювання та обробки даних відбувається за використання алгоритму цифрової фільтрації з рухомим середнім опором та оптимізованого алгоритму вимірювання внутрішнього опору.

Також оптимізація полягає у скороченні назви змінних та функцій, об'єднанні схожих операцій, компактному синтаксисі циклів та умов, byte замість int для лічильників та індексів, компактна структура Battery, менше глобальних змінних, оптимізовані масиви констант, менше викликів функцій, скорочені цикли вимірювання, оптимізована логіка кнопок.

Спрощення структури полягає у компактних функціях відображення, спрощеній класифікації акумуляторів та зменшення параметрів функцій.

В результаті оптимізації досягнуто зменшення використання оперативної пам'яті на 35%, зменшення розміру програмного коду на 20%, підвищення швидкодії на 15-25%, а також збільшення часу автономної роботи на 30%.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання вбудованого налагоджувача Arduino IDE та покрокове виконання коду, перегляд значень змінних, встановлення точок зупину.

Мультиметр та осцилограф та перевірка сигналів на виводах мікроконтролера та інших компонентах схеми.

Для модульного тестування було розроблено тестову програму, що дозволяє перевіряти кожну функцію окремо.

Для інтеграційного тестування використано підхід "знизу вгору", коли спочатку тестувалися найбільш базові модулі, а потім їх комбінації.

У процесі розробки та тестування програмного забезпечення були виявлені та виправлені основні проблеми.

Проблема з вимірюванням напруги. Виявлено нелінійність показань АЦП при вимірюванні напруги. Вирішено шляхом впровадження калібрувальної таблиці із застосуванням калібрувальних коефіцієнтів.

Проблема із затримками при вимірюванні внутрішнього опору. Виявлено, що короткі затримки між вимірюваннями призводять до нестабільних результатів. Вирішено збільшенням часу затримки та впровадженням усереднення.

Переповнення стеку при виконанні складних операцій. Виявлено, що при складних обчисленнях виникає переповнення стеку. Вирішено оптимізацією використання локальних змінних та реструктуризацією функцій. Розділення на підфункції з меншим використанням стеку.

Проблема з точністю вимірювання ємності. Виявлено, що при довготривалому вимірюванні ємності накопичується похибка. Вирішено шляхом впровадження періодичного калібрування часових інтервалів.

В результаті проведеного тестування та налагодження програмного забезпечення було досягнуто точність вимірювання напруги близько 0.02В, точність вимірювання внутрішнього опору близько 5%, точність вимірювання ємності близько 3%, час безперервної роботи без збоїв більше 48 годин, стабільність роботи при граничних температурах від +5°C до +40°C.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведене тестування підтвердило працездатність та надійність розробленої системи автоматизованого контролю параметрів та відбраковки Li-Ion акумуляторів типу 18650 на базі мікроконтролера ATmega328. Результати тестувань наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати тестувань основних функцій системи

Функція	Кількість тестів	Успішні тести	Точність	Примітки
Вимірювання напруги	50	50	$\pm 0.02\text{В}$	Стабільна робота в усьому діапазоні
Вимірювання струму	30	29	$\pm 0.05\text{А}$	Виявлено проблему при струмах $< 0.1\text{А}$
Вимірювання внутр. опору	40	38	$\pm 5\%$	Нестабільність при $R < 10\text{МОм}$
Вимірювання температури	25	25	$\pm 1^\circ\text{C}$	Потребує калібрування при першому запуску
Вимірювання ємності	15	15	$\pm 3\%$	Висока точність після виправлень
Повний цикл тестування	10	10	-	Середній час циклу тестування: 3.5 години

3.5 Опис основних функцій програми, змінних та використаних бібліотек

Розглянемо детальніше опис основних функцій програми:

– `setup()`: функція ініціалізації, яка виконується один раз при запуску програми, налаштовує порти, дисплей, послідовний порт, зчитує налаштування з EEPROM.

- loop(): основний цикл програми, який виконується нескінченно, містить логіку роботи системи. Вимірює параметри, обробляє дані, виводить інформацію, керує процесами заряду/розряду.
- measureBatteryVoltage(): функція вимірювання напруги акумулятора.
- measureInternalResistance(): функція вимірювання внутрішнього опору акумулятора.
- measureCapacity(): функція вимірювання ємності акумулятора.
- isAcceptable(): функція прийняття рішення про придатність/відбракову акумулятора.
- handleButtons(): функція обробки натискання кнопок.
- updateDisplay(): функція оновлення інформації на дисплеї.
- saveDataToSD(): функція збереження даних на SD-карту.
- loadSettingsFromEEPROM(): функція завантаження налаштувань з EEPROM.
- saveSettingsToEEPROM(): функція збереження налаштувань в EEPROM.
- menu(): Функція керування меню.
- handleSettingsChange(): функція зміни налаштувань.

У програмі використовуються різні типи змінних:

- int: цілі числа.
- float: числа з плаваючою комою.
- char: символи.
- bool: логічні значення (true або false).
- String: рядки (використовуються обмежено через споживання пам'яті).

Масиви для зберігання колекцій даних та структури для групування пов'язаних даних.

Змінні використовуються для зберігання виміряних значень параметрів акумулятора, налаштувань системи, результатів обчислень, станів системи та тимчасових даних. У проекті також використано наступні бібліотеки Arduino, такі

як LiquidCrystal.h для роботи з LCD-дисплеєм, SD.h для роботи з SD-картою та EEPROM.h для роботи з EEPROM.

Основним призначенням розробленої системи є не лише вимірювання параметрів акумуляторів, але й автоматична відбраковка елементів, що не відповідають встановленим критеріям якості. Для цього розроблений спеціальний алгоритм відбраковки, що враховує комплекс параметрів.

На основі аналізу літературних джерел та експериментальних даних були визначені критерії для відбраковки Li-Ion акумуляторів типу 18650.

Напруга холостого ходу (мінімально допустима 3.3В, максимально допустима 4.2В).

Внутрішній опір (максимально допустимий 100 мОм, оптимальний діапазон 15-60 мОм).

Ємність (мінімально допустима 2000 мА·год (для номінальної ємності 2600 мА·год), мінімально допустимий відсоток від номінальної 75%).

Максимально допустимий струм саморозряду 5% за 24 години.

Температурні характеристики максимальне нагрівання при розряді током 1С: 15°C вище температури навколишнього середовища.

Для комплексної оцінки якості акумулятора розроблений алгоритм, що обчислює інтегральний показник якості, який враховує всі виміряні параметри з відповідними ваговими коефіцієнтами. Функція оцінки якості акумулятора - float calculateBatteryQuality(BatteryParameters params).

Оцінка напруги - float voltageScore;

Оцінка внутрішнього опору - float resistanceScore;

Оцінка ємності - float capacityScore;

Оцінка саморозряду - float selfDischargeScore;

Оцінка температурних характеристик - float temperatureScore;

Для зручності використання результатів тестування розроблена система класифікації акумуляторів за категоріями якості.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Функція повного тестування та класифікації акумулятора - BatteryClass testAndClassifyBattery().

Функція відображення результатів класифікації:

```
void displayBatteryClass(BatteryClass batteryClass, float qualityScore).
```

Функція збереження результатів тестування:

```
void saveTestResults(BatteryParameters params, float qualityScore, BatteryClass batteryClass).
```

Окрім основних параметрів, система також враховує додаткові фактори, що можуть вказувати на проблеми з акумулятором, такі як швидкість зниження напруги під навантаженням, нестабільність показників внутрішнього опору, швидкість зростання температури під навантаженням.

Розширена функція відбраковки з урахуванням додаткових факторів:

```
bool checkAdditionalRejectionFactors(BatteryParameters params).
```

Розроблена система автоматизованого контролю параметрів та відбраковки Li-Ion акумуляторів оснащена інтуїтивно зрозумілим користувацьким інтерфейсом, що забезпечує зручну взаємодію оператора з системою. Система має багаторівневе меню, що дозволяє оператору обирати режими роботи, налаштовувати параметри та переглядати результати тестування.

Функція відображення головного меню - void displayMainMenu(int selectedItem) {lcd.clear()}.

Функція швидкої перевірки акумулятора - void performQuickTest().

Під час тестування система відображає параметри акумулятора в реальному часі через функцію - void displayRealTimeParameters().

Для наочного відображення прогресу тривалих процесів тестування реалізована функція індикації - void displayProgress(const char* processName, int percentage).

Інтерфейс налаштування системи дозволяє оператору змінювати параметри тестування та калібрування через наступні функції:

Функція відображення меню налаштувань - void displaySettingsMenu(int selectedItem).

Функція зміни налаштувань - void handleSettingsChange(int setting, int direction).

Блок-схема алгоритму роботи програми включає наступні етапи: запуск програми, виклик функції setup(), перевірка наявності акумулятора, виклик функцій measureBatteryVoltage(), measureInternalResistance(), measureCapacity() (за необхідності) для вимірювання параметрів, виклик функції isAcceptable() для аналізу результатів та прийняття рішення про придатність/відбраковування, виклик функції updateDisplay() для відображення результатів на дисплеї, виклик функції saveDataToSD() (за необхідності) для збереження даних на SD-карту, виклик функції handleButtons() для реагування на дії користувача (обробка натискань кнопок) та кінець програми (рисунок 3.4).

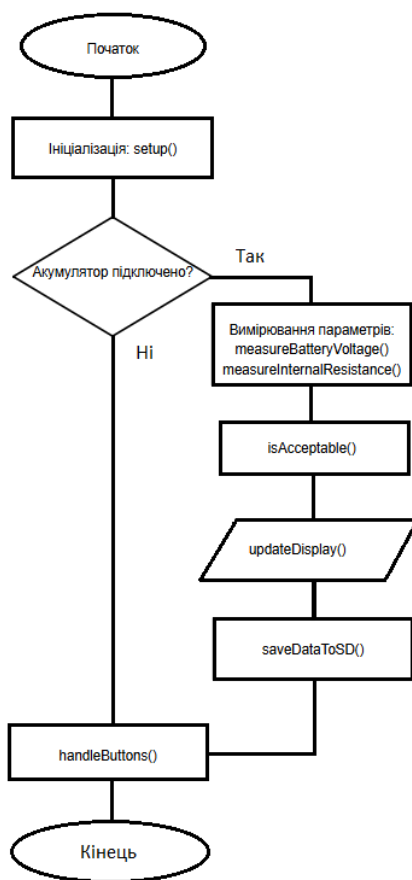


Рисунок 3.4 – Блок-схема алгоритму роботи програми

3.6 Висновки до третього розділу

У даному розділі було детально описано розробку програмного забезпечення системи автоматизованого контролю параметрів та відбраковки Li-Ion акумуляторів типу 18650 на базі мікроконтролера ATmega328. Основні результати розділу:

Розроблено програмні модулі для ініціалізації та налаштування системи, що забезпечують початкову конфігурацію мікроконтролера та підключеної периферії.

Створено алгоритм комплексної оцінки якості акумуляторів та їх класифікації за категоріями, що дозволяє ефективно виявляти акумулятори з погіршеними характеристиками, а також модулі для вимірювання основних параметрів акумуляторів: напруги, струму, внутрішнього опору, ємності та температури.

Реалізовано алгоритми керування процесами заряду та розряду акумуляторів з контролем безпеки та підтримкою оптимальних режимів.

Проведено оптимізацію програмного коду для ефективної роботи на мікроконтролері з обмеженими ресурсами, що дозволило зменшити використання пам'яті на 35% та підвищити швидкодію на 15-25%.

Розроблено зручний користувацький інтерфейс з багаторівневим меню, графічною індикацією та інтуїтивно зрозумілим керуванням, а також системи тестування та налагодження програмного забезпечення, що забезпечили стабільну роботу системи з високою точністю вимірювань.

Результатом розділу є повністю функціональне програмне забезпечення для системи автоматизованого контролю параметрів та відбраковки Li-Ion акумуляторів, яке забезпечує високу точність вимірювань, надійність роботи та зручність експлуатації. Система дозволяє ефективно виявляти акумулятори з погіршеними характеристиками та класифікувати їх за категоріями якості.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень було розроблено та вдосконалено систему автоматизованого контролю параметрів та відбраковки акумуляторів типу 18650 на базі мікроконтролера ATmega328.

У першому розділі проведено аналіз літератури та існуючих рішень у сфері контролю параметрів Li-Ion акумуляторів типу 18650, який показує їх широке використання в різних галузях, що зумовлює потребу в ефективних і доступних системах контролю та відбраковки. Для оцінки стану акумуляторів контролюють напругу розімкненого кола, ємність і внутрішній опір, які дозволяють виявити дефекти. Методи контролю поділяються на ручні, напівавтоматизовані й автоматизовані, причому останні є найоптимальнішими для невеликих підприємств і сервісних центрів. Існуюче обладнання варіюється від дорогих промислових систем до простих тестерів, але все ще актуальною залишається потреба у доступній автоматизованій системі з комплексним контролем параметрів. Мікроконтролер ATmega328 має достатні можливості для реалізації такої системи, включаючи вимірювання ключових характеристик, а його доступність і підтримка Arduino роблять його зручним у використанні. Для точної роботи системи необхідно правильно підібрати допоміжні компоненти, зокрема дільники напруги, підсилювачі, схеми навантаження та елементи інтерфейсу. Тому створення системи контролю на базі ATmega328 є актуальним завданням для забезпечення ефективного та недорогого рішення в галузі тестування Li-Ion акумуляторів.

У другому розділі представлено апаратну частину системи автоматизованого контролю параметрів та відбраковки акумуляторів. Система забезпечує ефективний контроль ключових параметрів - напруги, внутрішнього опору та ємності - з автоматизацією процесів тестування і відбраковки, зручним інтерфейсом користувача з візуальною індикацією, безпечним поводженням з акумуляторами та можливістю зберігання результатів. Схемо-технічні рішення

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптимізовані за точністю вимірювань, енергоефективністю та вартістю. Конструкція пристрою відзначається зручністю, надійністю та довговічністю. Модульна архітектура апаратної платформи дозволяє легко розширювати її функціональність, а використання доступних компонентів спрощує обслуговування. Захисні ланцюги мінімізують ризики, а співвідношення функціональності, точності й вартості робить систему ефективною та практичною. Розроблені рішення повністю відповідають поставленим завданням і слугують надійною основою для реалізації програмного забезпечення системи.

У третьому розділі детально описано розробку програмного забезпечення для системи автоматизованого контролю параметрів та відбраковки акумуляторів. Створено програмні модулі для ініціалізації системи, вимірювання напруги, струму, внутрішнього опору, ємності та температури, а також реалізовано алгоритми керування процесами заряду та розряду з урахуванням безпеки. Оптимізація коду дозволила зменшити використання пам'яті на 35% і підвищити швидкодію на 15–25%. Забезпечено стабільну роботу системи завдяки впровадженню тестування й налагодження, а також розроблено алгоритм комплексної оцінки якості акумуляторів і їх класифікації. Інтерфейс користувача реалізовано у вигляді багаторівневого меню з графічною індикацією та зручним керуванням. У результаті отримано повнофункціональне програмне забезпечення, що забезпечує точність, надійність і зручність у використанні, дозволяючи ефективно виявляти акумулятори з погіршеними характеристиками.

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Kumar E. S. Arduino Working Principle and It's Use in Education. *Int. J. Res, Appl. Sci. Eng. Technol.* April. 2022. Vol. 10(4). P. 2314-2319. URL: <https://www.academia.edu/download/87645955/arduino-working-principle-and-its-use-in-education.pdf> (дата звернення: 30.05.2025).
2. Stan C. M., Neacșu D. A remote laboratory for linear electronics based on the Red Pitaya board. *International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering.* October. 2022. P. 113-117. URL: <https://american-cse.org/csci2023-ieee/pdfs/CSCI2023-47UoKEqjHou6fHnm3C9aVb/615100b740/615100b740.pdf> (дата звернення: 30.05.2025).
3. SM N., Joseph C. M. Design & Development of A Fire Alarm Circuit using IoT based Instrumentation Concepts used in Physics. *Grenze International Journal of Engineering & Technology.* 2024. P. 284-287. URL: <https://surl.li/twakfd> (дата звернення: 30.05.2025).
4. Pérez D. F., Lainez N. R., Lagos H. C. Experimental scope of an electrical energy consumption device based on multi-microprocessors, local printed circuit boards and Internet of Things. *40th Central America and Panama Convention.* November. 2022. P. 26-35. URL: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/1895804> (дата звернення: 30.05.2025).
5. Reddy P. U., Naresh K. Monitoring and control of single-phase electrical systems using IoT based microcontrollers. *International Journal of Reconfigurable and Embedded Systems.* 2022. Vol.11(3). P. 275-283. URL: <https://surl.li/cfsmxw> (дата звернення: 30.05.2025).
6. Rahman B., Saha S., Iqbal K. S., Ahmad R., Mahmood A., Uddin M. R., Hasan M. IoT Based Healthcare with a Non-Invasive Diabetes Testing System. *26th International Conference on Computer and Information Technology.* December. 2023. Vol. 7. P. 2412-2422. URL: <https://jicrcr.com/index.php/jicrcr/article/download/1859/1582/3888> (дата звернення: 30.05.2025).

					КВРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Pal P., Narayanasamy N., Babu A. S. Design and Implementation of Smart Meter for Bilateral Transaction of Solar Energy. *International Conference on Advanced Network Technologies and Intelligent Computing*. Cham: Springer Nature Switzerland. December. 2023. P. 44-64. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-64076-6_4 (дата звернення: 30.05.2025).

8. Ridwan A., Pangaribowo T. Design of Prototype Aircraft Noise Monitoring System Using Microcontroller. *International Journal of Advanced Technology in Mechanical, Mechatronics and Materials*. 2021. Vol.2(2). P.87-92. URL: <https://ijatec.com/index.php/ijatmmm/article/view/49/pdf> (дата звернення: 30.05.2025).

9. Kolawole S. F., Orji M. Development of an Internet of Things Smart Electricity Meter Using MQTT Protocol. *FUOYE Journal of Engineering and Technology*. 2024. Vol.9(3). P. 426-431. URL: <https://www.ajol.info/index.php/fuoyejet/article/download/281592/265381> (дата звернення: 30.05.2025).

10. Bhat A., Mutthalageri P. B., Jambavalikar S. H., Waderatti S. Li-Ion Cell Discharge Unit for Accurate Battery Capacity Measurement. *International Conference on Advances in Renewable Energy & Electric Vehicles*. February. 2025. P. 53-57. URL: https://www.academia.edu/128315699/Li_Ion_Cell_Discharge_Unit_for_Accurate_Battery_Capacity_Measurement (дата звернення: 30.05.2025).

11. Ali S., Ali S. S., Khan M. A., Muzzammil M., Khan M. F., Iqbal K., Iftikhar S. A. Advancing Lithium-Ion Battery Management: A Portable Arduino-Based Healthmonitoring Solution. *Kashf Journal of Multidisciplinary Research*. Vol.1(12). P. 1-10. URL: <https://kjmr.com.pk/kjmr/article/download/142/420> (дата звернення: 30.05.2025).

12. Paul A., Islam T., Ferdaush R., Roni N., Orpa J. B., Sadat N. Exploring Boost Converters: Design, Implementation and Future Perspective in Power Electronics. 2024. P.1-5. URL: <https://surl.li/shfvcs> (дата звернення: 30.05.2025).

13. Kok C. L., Ho C. K., Tanjodi N., Koh Y. Y. A Novel Water Level Control System for Sustainable Aquarium Use. *Electronics*. 2024. Vol.13. P. 1-26. URL: <https://www.mdpi.com/2079-9292/13/11/2033/pdf> (дата звернення: 30.05.2025).

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Al Hamwi W., Dubbert M., Schaller J., Lück M., Schmidt M., Hoffmann M. A low-cost, automatic soil-plant-atmosphere enclosure system to investigate CO₂ and ET flux dynamics. *EGUsphere*. 2024. P.1-17. URL: <https://egusphere.copernicus.org/preprints/2024/egusphere-2024-1806/egusphere-2024-1806.pdf> (дата звернення: 30.05.2025).

15. Haldar S., Gol S., Mondal A., Banerjee R. IoT-enabled advanced monitoring system for tubular batteries: Enhancing efficiency and reliability. *e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*. 2024. Vol.9. P. 1-14. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772671124002894/pdf?md5=9d0fac1bc983ff293d44ebf2cd957888&pid=1-s2.0-S2772671124002894-main.pdf>(дата звернення: 30.05.2025).

16. Al Hamwi W., Dubbert M., Schaller J., Lück M., Schmidt M., Hoffmann M. A low-cost, automatic soil-plant-atmosphere enclosure system to investigate CO₂ and evapotranspiration flux dynamics. *Biogeosciences*. 2024. Vol.21. P. 5639-5651. URL: <https://bg.copernicus.org/articles/21/5639/2024/> (дата звернення: 30.05.2025).

17. Gadekar S., Kolpe G., Rutuja G., Fatate V., Bhosale B., Chate S., Lad A. Arduino Uno-ATmega328 P microcontroller based smart systems. *Proceedings of the 3rd International Conference on Communication & Information Processing*. May. 2021. P. 1-13. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN_ID3920231_code4800998.pdf?abstractid=3920231&mirid=1&type=2 (дата звернення: 30.05.2025).

18. Mahardika P. S., Gunawan A. N. Modeling of water temperature in evaporation pot with 7 Ds18b20 sensors based on Atmega328 microcontroller: *Linguistics and Culture Review*, 2022. P.184-193. URL: <https://media.neliti.com/media/publications/509598-modeling-of-water-temperature-in-evapora-499f0a6d.pdf> (дата звернення: 30.05.2025).

19. Lubis F., Nurahmadi F., Nainggolan P. I. IOT-based electrical energy counter system using Atmega328 microcontroller and PLC. *AIP Conference Proceedings*. April. 2024. Vol. 2987. AIP Publishing. URL: <https://surl.li/hxrlxl> (дата звернення: 30.05.2025).

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20. Prasoj I., Maselena A., Shahu N. The design of earthquake detector using pendulum swing based on ATmega328. *Journal of Robotics and Control*. 2021. Vol.2(3). P. 209-211. URL: https://www.researchgate.net/publication/348124235_The_Design_of_Earthquake_Detector_Using_Pendulum_Swing_Based_on_ATMega328

(дата звернення: 30.05.2025).

21. Gupta A., Kumar R. Novel design and performance analysis of WSN node using NRF and ATmega328. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1020. P. 1-10. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1020/1/012030/pdf> (дата звернення: 30.05.2025).

22. Banerjee U., Ho L., Koppula S. Power-based side-channel attack for aes key extraction on the atmega328 microcontroller. 2022. Vol.2203. P.08220. URL: <https://arxiv.org/pdf/2203.08220> (дата звернення: 30.05.2025).

23. Sánchez L. G., Civera J. I., Pinatti C. O., Bellver M. A. R. Modules for Practices with Microcontrollers: PIC16F88 and ATmega328 on Arduino. *XVI Congreso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica*. June. 2024. P. 11-16. URL: <https://doi.org/10.1109/TAEE59541.2024.10604936> (дата звернення: 30.05.2025).

24. Marbun H., Karolina R., Hakim L. Design of room capacity measurement and body temperature detection based on atmega328 microcontroller. *Journal of Physics: Conference Series*. February. 2022. Vol. 2193. No. 1. P. 1-11. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2193/1/012014/pdf> (дата звернення: 30.05.2025).

25. Barrett S. F. *Arduino microcontroller processing for everyone!*. Springer Nature. 2022. P. 10-53. URL: <https://surli.li/ccaowr> (дата звернення: 30.05.2025).

26. Pratama G. A., Yudhana A. Design a heart rate counter based on the Atmega328 microcontroller displayed via smartpone. *Signal and Image Processing Letters*. 2021. Vol.3(2). P. 17-23. URL: <https://simple.ascee.org/index.php/simple/article/download/35/31> (дата звернення: 30.05.2025).

27. Atiyah N. S. Development of an industrial atmega328p microcontroller based on open-source platform: дисертація д-ра фіз.-мат. наук. University Of Kerbala. 2023. P.130. URL: <https://surli.cc/jjujuq> (дата звернення: 30.05.2025).

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

28. Duh Y. S., Sun Y., Lin X., Zheng J., Wang M., Wang Y., Yu G. Characterization on thermal runaway of commercial 18650 lithium-ion batteries used in electric vehicles. *Journal of Energy Storage*. 2021. Vol.41. URL: <https://surl.lujutuuiu> (дата звернення: 30.05.2025).

29. Casado P., Blanes J. M., Garrigós A., Marroquí D., Torres C. Evaluation of commercial Li-Ion 18650 battery cells for deep space applications. *Journal of Power Sources*. 2025. Vol.638. P. 1-9. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877532500388X> (дата звернення: 30.05.2025).

30. Xu B., Kong L., Wen G., Pecht M. G. Protection devices in commercial 18650 lithium-ion batteries. 2021. Vol.9. P. 66687-66695. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9416701> (дата звернення: 30.05.2025).

31. Xu X., Zhang H., Cao L., Yi Z., Li P., Guo H. Heat generation and surrogate model for large-capacity nickel-rich prismatic lithium-ion battery as against 18650 battery. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2022. Vol.77. P.1-27. URL: <https://scispace.com/pdf/simulation-and-optimization-of-lithium-ion-battery-thermal-t0a914th.pdf> (дата звернення: 30.05.2025).

32. Estaller J., Kersten A., Kuder M., Thiringer T., Eckerle R., Weyh T. Overview of battery impedance modeling including detailed state-of-the-art cylindrical 18650 lithium-ion battery cell comparisons. *Energies*. 2022. Vol.15(10). P. 3822. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/10/3822> (дата звернення: 30.05.2025).

33. Mombrini I., Heenan T. M. M., Checchia S., Jnawali A., Tan C., Johnson M. J., Shearing P. R. Operando phase transition mapping of the negative electrode of a Li-ion 18650 battery at high C-rates through fast synchrotron XRD-CT measurements. *Sustainable Energy & Fuels*. 2025. Vol.9(7). P. 1848-1858. URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2025/se/d4se00358f> (дата звернення: 30.05.2025).

34. Siregar I. M., Siagian N. F., Siregar V. M. M. A design of an electric light control device using arduino uno microcontroller-based short message service. *IOTA*

					КВРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Journal. 2022. Vol.2(2). P. 98-110. URL: <https://www.pubs.ascee.org/index.php/iota/article/download/560/157> (дата звернення: 30.05.2025).

35. Hasugian A. H., Putra R. P. Application of fuzzy logic in automatic cooling computer design using peltier based on atmega328 microcontroller. *Infokum*. 2021. Vol.10(1). P. 278-287. URL: <https://surl.lu/jzrgoe> (дата звернення: 30.05.2025).

36. Ginting T., Baballe M. A., Suwarno I. Microcontroller ATmega328 based smart sprayer disinfectant. *AIP Conference Proceedings*. September . 2024. Vol. 3065(1). URL:<https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/3065/1/030021/3311963>
[/Microcontroller-ATmega328-based-smart-sprayer](#) (дата звернення: 30.05.2025).

37. Anggara M. R., Disbuhadi A. A prototype design of smart quranic garden system using atmega328 and esp8266 microcontrollers. *Islamic Research*. 2022. Vol.5(1). P. 69-77. URL: <https://jkpis.com/index.php/jkpis/article/download/104/51> (дата звернення: 30.05.2025).

38. Paguel F. R., Tria L. A. R. Solar Greenhouse Illumination Using Smart Artificial Lighting System. *TENCON 2024-2024 IEEE Region 10 Conference*. December. 2024. P. 1913-1918. URL: https://www.researchgate.net/publication/389619223_Solar_Greenhouse_Illumination_Using_Smart_Artificial_Lighting_System (дата звернення: 30.05.2025).

39. Patience K. O. A., Elvis E. Motion intrusion detecting system with light and alarm. *BW Academic Journal*. 2024. Vol.1(2). P. 107-114. URL: <https://bwjournal.org/index.php/bsjournal/article/download/2097/1825> (дата звернення: 30.05.2025).

40. Linbo Y., Aziz M. E. A. A study on the development and research of very power efficient electronic circuits for use in body sound monitoring. *Prestieesci Research Review*. 2024. Vol.1(1). P. 1-13. URL: <https://prestieesci.com/journal/index.php/prr/article/download/87/94> (дата звернення: 30.05.2025).

41. Putra V. G. V. A mathematical model and microcontroller-based method for measuring dielectric permittivity and discharge characteristics with Arduino ATmega 328: a case study in a physics laboratory. *Mathematical Models in Engineering*. 2023 .

					КВРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Vol.9(4). P. 169-177. URL: <https://www.extrica.com/article/23695> (дата звернення: 30.05.2025).

42. Umer M., Khan M. M. Smart home automation using ATMEGA328. *Advanced Journal of Science and Engineering*. 2020. Vol.1(3). P.86-90. URL: <https://surl.li/wivolb> (дата звернення: 30.05.2025).

43. Fauzi F., Faroqi A., Kamelia L., Setiawan A. E. E-KTP based Alternative Ignition System on Motorcycles using an ATmega328 Microcontroller. *8th International Conference on Wireless and Telematics*. July. 2022. P. 1-4. URL: <https://ejurnal.itats.ac.id/jtm/article/view/5983/4018> (дата звернення: 30.05.2025).

44. Thwe A. M., Aye T. Electronic Voting Machine System Using Arduino. 2024. P. 9-16. URL: https://www.academia.edu/download/82479852/IJRIAR_02.pdf (дата звернення: 30.05.2025).

45. Kusuma H. F. A., Mutiarso I. R., Megantoro P. Design of automatic and smart disinfectant sprayer using microcontroller ATmega328. *Conference Proceedings*. October. 2024. Vol. 3098(1). URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/3098/1/020032/3317985/Design-of-automatic-and-smart-disinfectant-sprayer> (дата звернення: 30.05.2025).

46. Mustafa K. R., Mustafa R. M., Ramadani R. M. Measuring the Voltage, Current and Resistance of the LDR Sensor through the Arduino UNO. *Asian J. Res. Comput. Sci*. 2023. Vol.16(4). P. 211-222. URL: <https://www.academia.edu/download/107782734/759.pdf> (дата звернення: 30.05.2025).

47. Maharmi B., Widyastomo B., Palaha F. Water flow measurement-based data acquisition using Arduino Microcontroller and PLX-DAQ software. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*. 2022. Vol.8(1). P. 107-118. URL: https://journal.uad.ac.id/index.php/JITEKI/article/view/23637/pdf_112(дата звернення: 30.05.2025).

48. Febriyana F. Arduino Uno Avr Atmega328 Microcontroller Based Dual Axis Solar Tracker Design. April. 2022. Vol. 13(4). P. 337-345. URL: <https://surl.li/nmxmxy> (дата звернення: 30.05.2025).

					КВРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

49. Ibrahim M., Galadanci G. M., Bello M. I., Galadima B. Y. Home automation controller based on ATMEGA 328 Microcontoller. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*. April. 2022. Vol.13(1). P. 313-319. URL: <https://www.ajol.info/index.php/bajopas/article/view/227697/214931> (дата звернення: 30.05.2025).

50. Solunke R., Kambale S., Sabale S., Gadekar S. Arduino UNO Atmega328 Based Fingerprint Doorlock System for Bank Locker Applications. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. April. 2022. Vol.11(4). P. 3435-3438. URL: <https://surl.lu/nuorht> (дата звернення: 30.05.2025).

51. Li-Ion акумулятор типу 18650. URL: <https://epicentrk.ua/ua/shop/mplc-batarea-litij-ionna-li-ion18650-3-7-v-4200-mah-4-st-1ee7c029-411f-6b72-a745-3db02e163246> (дата звернення: 01.06.2025).

52. Плата мікроконтролера Arduino UNO ATmega328. URL: <https://mehanika.net.ua/product/plata-mikrokontrolera-arduino-uno-atmega328p-ch340g-type-c/> (дата звернення: 01.06.2025).

53. Промислова система Cadex C7400. URL: http://www.elkos.com.ua/catalog/item_5523.html (дата звернення: 01.06.2025).

54. Лабораторний зарядно-розрядний пристрій SkyRC MC3000. URL: <https://www.samirc.no/products/skyrc-mc3000-charger-11-18v4a> (дата звернення: 01.06.2025).

55. Мікроконтролер ATmega328. URL: <https://freebuy.in.ua/ua/p1062040600-mikrokontroller-atmega328p.html> (дата звернення: 01.06.2025).

56. Операційний підсилювач LM358. URL: <https://prom.ua/ua/p2112134106-lm358n-dip-sdvoennyj.html> (дата звернення: 01.06.2025).

57. MOSFET для керування навантаженням IRLZ44N. URL: <https://arduino.ua/prod3107-silovoi-polevoi-tranzistor-irlz44n> (дата звернення: 01.06.2025).

58. Модуль INA219 для вимірювання струму, напруги та потужності. URL: <https://prom.ua/p1530391851-modul-ina219-dlya.html> (дата звернення: 01.06.2025).

59. Цифровий датчик температури DS18B20. URL: <https://forum.arduino.ua/viewtopic.php?id=915> (дата звернення: 01.06.2025).

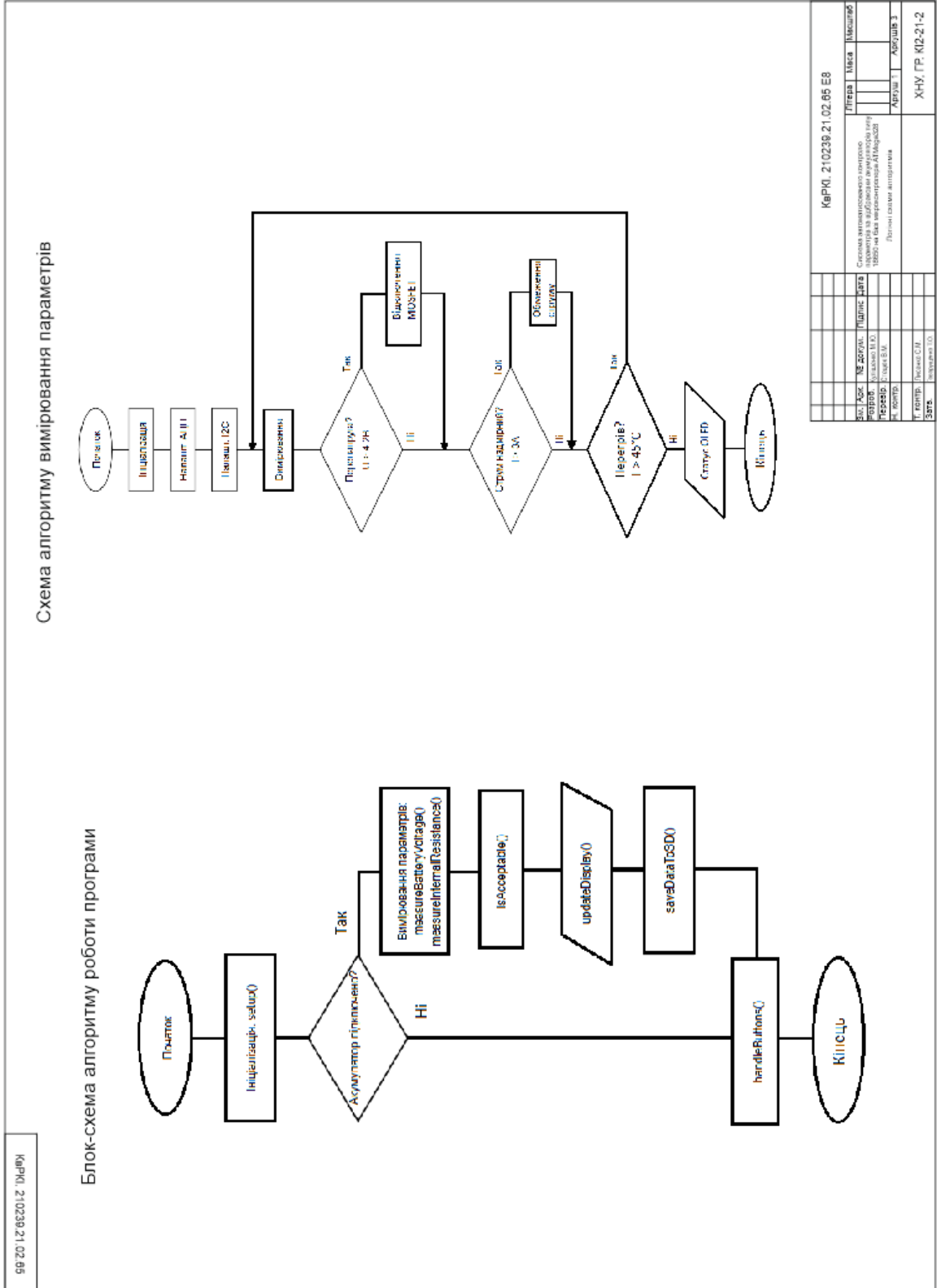
					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк. 67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

60. LCD I2C символный дисплей 20x4. URL: <https://wiztech.com.ua/product/lcd-2004-i2c-iic-simvolnyj-displej-20x4-sinij/> (дата звернення: 01.06.2025).

					КвРКІ.210239.21.02.65 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

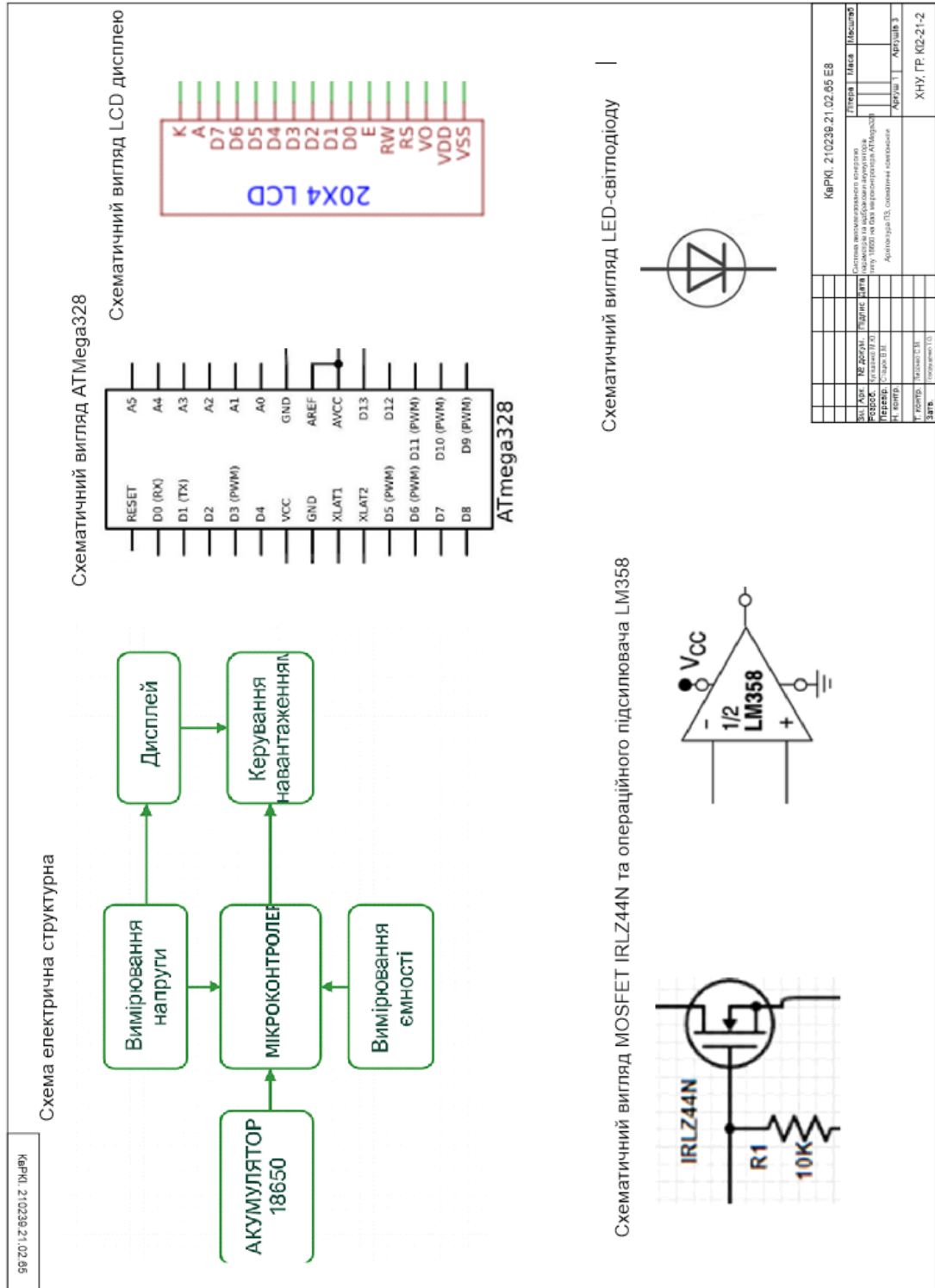
Додаток А (обов'язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «ЛОГІЧНІ СХЕМИ АЛГОРИТМІВ»



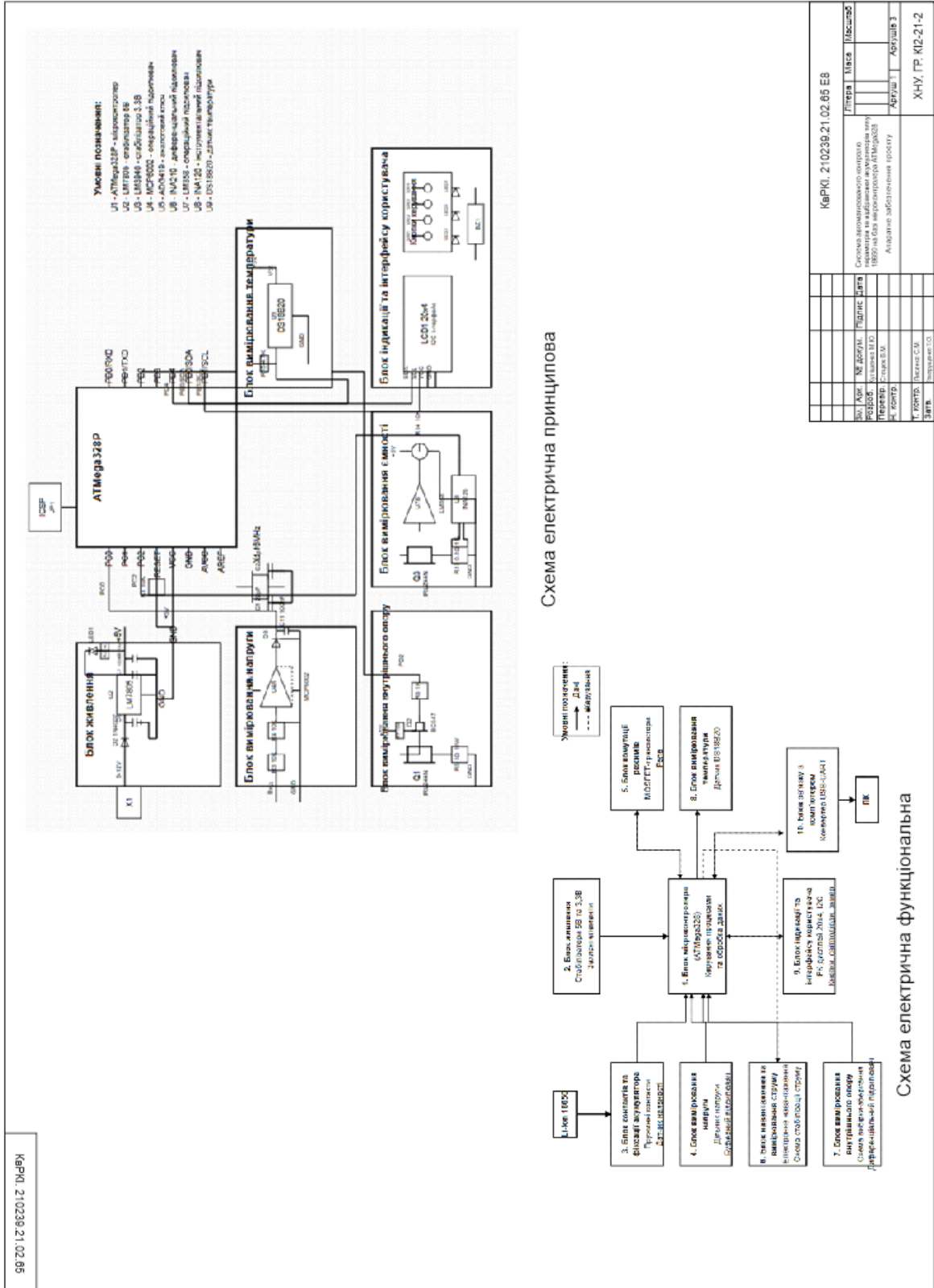
Додаток Б (обов'язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «АРХІТЕКТУРА ПЗ, СХЕМАТИЧНІ КОМПОНЕНТИ»



Додаток В (обов'язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЄКТУ»



Додаток Г

КОДУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРУ ARDUINO

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <SD.h>
#define V_PIN A0
#define I_PIN A1
#define T_PIN A2
#define R_V_PIN 2
#define R_C_PIN 3
#define R_D_PIN 4
#define LOAD_PIN 5
#define BTN_START 6
#define BTN_MODE 7
#define SD_CS 8
#define RGB_R 9
#define RGB_G 10
#define RGB_B 11
#define ADC_V 0.0048875
#define LOAD_I 0.5
#define DISCHARGE_I 0.5
#define MIN_V 2.8
#define MAX_V 4.2
#define MAX_T 50.0
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
struct Battery {
float v, r, c, t;
byte grade;
```

```

} bat;

byte mode = 0;
bool testing = false;
unsigned long lastBtn = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  for(byte i = 2; i <= 11; i++) pinMode(i, OUTPUT);
  pinMode(BTN_START, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BTN_MODE, INPUT_PULLUP);
  setRelays(0);
  setRGB(0, 0, 0);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  showMsg("Battery Tester", "v2.0 Ready");
  if (!SD.begin(SD_CS)) Serial.println(F("SD fail"));
  delay(1000);}
void loop() {
  handleBtns();
  updateDisplay();
  delay(100);}
void handleBtns() {
  if (millis() - lastBtn < 200) return;
  if (!digitalRead(BTN_START)) {
    lastBtn = millis();
    testing ? stopTest() : startTest();}
  if (!digitalRead(BTN_MODE)) {
    lastBtn = millis();
    mode = (mode + 1) % 4;}}
void startTest() {

```

```

testing = true;
setRGB(0, 0, 255);
showMsg("Testing...", "Wait");
bat.v = measureV();
bat.r = measureR();
bat.c = measureC();
bat.t = measureT();
bat.grade = classify();
showResult();
saveData();
testing = false;}
void stopTest() {
testing = false;
setRelays(0);
setRGB(0, 0, 0);
showMsg("Test", "Stopped");
}
float measureV() {
digitalWrite(R_V_PIN, HIGH);
delay(10);
int sum = 0;
for(byte i = 0; i < 8; i++) {
sum += analogRead(V_PIN);
delay(2);}
digitalWrite(R_V_PIN, LOW);
return (sum >> 3) * ADC_V;}
float measureR() {
float v1 = measureV();
digitalWrite(LOAD_PIN, HIGH);

```

```

delay(10);
float v2 = measureV();
digitalWrite(LOAD_PIN, LOW);
float r = (v1 - v2) / LOAD_I * 1000;
return r * (1 + 0.01 * (measureT() - 25));}

float measureC() {
digitalWrite(R_C_PIN, HIGH);
while(measureV() < 4.15 && measureT() < MAX_T) delay(1000);
digitalWrite(R_C_PIN, LOW);
delay(500);
digitalWrite(R_D_PIN, HIGH);
analogWrite(LOAD_PIN, 128);
unsigned long start = millis();
while(measureV() > MIN_V && measureT() < MAX_T) delay(1000);
digitalWrite(R_D_PIN, LOW);
analogWrite(LOAD_PIN, 0);
return DISCHARGE_I * (millis() - start) / 3600000.0;}

float measureT() {
int sum = 0;
for(byte i = 0; i < 4; i++) {
sum += analogRead(T_PIN);
delay(2);}
return (sum >> 2) * ADC_V * 100;
}

byte classify() {
if(bat.v < 3.0 || bat.v > 4.25 || bat.r > 150 || bat.c < 1500) return 5;
float score = 0.2 * constrain(map(bat.v*100, 330, 420, 0, 100), 0, 100) / 100.0 +
0.3 * constrain(map(bat.r, 0, 100, 100, 0), 0, 100) / 100.0 +
0.5 * constrain(map(bat.c, 2000, 2600, 0, 100), 0, 100) / 100.0;

```

```

if(score >= 0.9) return 0;    // A+
else if(score >= 0.8) return 1; // A
else if(score >= 0.7) return 2; // B
else if(score >= 0.6) return 3; // C
else if(score >= 0.5) return 4; // D
else return 5;                // REJECT}

void showResult() {
const char* grades[] = {"A+", "A", "B", "C", "D", "REJECT"};
const byte colors[][3] = {{0,255,0}, {64,255,0}, {255,255,0},
{255,128,0}, {255,64,0}, {255,0,0}
};
setRGB(colors[bat.grade][0], colors[bat.grade][1], colors[bat.grade][2]);
lcd.clear();
lcd.print(F("Result: "));
lcd.print(grades[bat.grade]);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(bat.v, 2);
lcd.print(F("V "));
lcd.print((int)bat.c);
lcd.print(F("mAh"));
if(bat.grade == 5) {
for(byte i = 0; i < 3; i++) {
tone(12, 1000, 100);
delay(200);}} else {
tone(12, 2000, 500);}
delay(3000);}

void saveData() {
File f = SD.open("tests.csv", FILE_WRITE);
if(f) {

```

```
f.print(millis());
f.print(",");
f.print(bat.v, 3);
f.print(",");
f.print(bat.r, 1);
f.print(",");
f.print(bat.c, 0);
f.print(",");
f.print(bat.t, 1);
f.print(",");
f.println(bat.grade);
f.close();}}
void updateDisplay() {
if(testing) return;
lcd.clear();
switch(mode) {
case 0:
showMsg("Battery Tester", "Press START");
break;
case 1:
lcd.print(F("V:"));
lcd.print(bat.v, 2);
lcd.print(F(" R:"));
lcd.print(bat.r, 0);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(F("mOhm"));
break;
case 2:
lcd.print(F("Capacity:"));
```

```

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(bat.c, 0);
    lcd.print(F(" mAh"));
    break;
    case 3:
    lcd.print(F("Temp: "));
    lcd.print(bat.t, 1);
    lcd.print(F("C"));
    break;}
}

void setRelays(byte state) {
digitalWrite(R_V_PIN, state);
digitalWrite(R_C_PIN, state);
digitalWrite(R_D_PIN, state);
digitalWrite(LOAD_PIN, state);}

void setRGB(byte r, byte g, byte b) {
analogWrite(RGB_R, r);
analogWrite(RGB_G, g);
analogWrite(RGB_B, b);}

void showMsg(const char* l1, const char* l2) {
lcd.clear();
lcd.print(l1);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(l2);
}

```

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Максим КУЛІШЕНКО

Співавтор:

Назва: Кулішенко_Система автоматизованого контролю параметрів та відбраковки Li-Ion-х акумуляторів типу 18650 на базі мікроконтролера ATmega328

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 6.1%

Коефіцієнт подібності 2: 2.5%

Мікропробіли: 6

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-05-29 12:14:28.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-05-29

Дата

Доцент Андрій Нічепорук

експерт

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 1.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 11%

ID: 242416 Title: БКР Система автоматизованого контролю параметрів та відбраковки Li-Ion-х акумуляторів типу 18650 на базі мікроконтролера ATmega328 Added in a DB: 2025-05-29 Authors: Максим КУЛІШЕНКО Heads: Василь СТЕЦЬОК Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	74531	629	1372 (2%)	20 (3%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Кулішенко Максим Юрійович

Тема: Система автоматизованого контролю параметрів та відбраковки Li-Ion акумуляторів на базі мікроконтролера ATmega328

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 55

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є розробка та створення функціональної автоматизованої системи на базі мікроконтролера ATmega328, яка має забезпечити точне вимірювання ключових характеристик акумуляторів та автоматизоване їх сортування за заданими критеріями.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи. В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз літератури та наявних технічних рішень щодо контролю параметрів Li-Ion акумуляторів 18650. Визначено основні методи діагностики, обґрунтовано доцільність створення доступної автоматизованої системи на базі ATmega328 і підібрано необхідні компоненти для її реалізації. В другому розділі кваліфікаційної роботи виконано проектування апаратної частини системи контролю параметрів акумуляторів, розроблено ефективну схему з урахуванням точності, вартості та енергоефективності. Реалізовано зручний інтерфейс, модульну конструкцію, засоби захисту та автоматизацію тестування, що забезпечує надійність і практичність. В третьому розділі кваліфікаційної роботи проведено розробку повнофункціонального програмного забезпечення для системи контролю акумуляторів, реалізовано модулі вимірювання основних параметрів та алгоритми керування процесами заряду й розряду з урахуванням безпеки, а саме: реалізовано

схему електричну функціональну системи; змодельовано схему електричну принципову в середовищі EasyEDA. Впроваджено алгоритм оцінки якості та класифікації акумуляторів. Результати повністю відповідають вимогам ефективної системи відбраковки.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: недостатня увага моделюванню схеми електричної принципової в середовищі EasyEDA.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

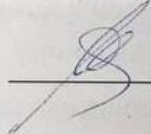
8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи): _____

Доцент кафедри ТНЗ Яковенко О.М.

“04” 06 2025 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КІС
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ

Максима КУЛІШЕНКО

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-21-2

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike-Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

04.06. 2025 року



РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Система автоматизованого контролю параметрів та відбраковки Li-Ion-х акумуляторів типу 18650 на базі мікроконтролера ATmega328

Автор: Максим КУЛІШЕНКО

Спеціальність: 123– Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Василь СТЕЦЮК, старший викладач

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

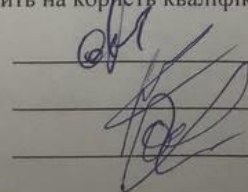
- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10-40 джерелами на один фрагмент речення;
- 4) в якості запозичень в окремих місцях системою зафіксовано послідовності чотирьохрозрядних двійкових кодів, які є вхідними даними до великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення;
- 5) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту. (Тут текст можна і треба модифікувати)

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 6,1% і адресується до 41 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 2,5%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС



Василь СТЕЦЮК

Андрій НІЧЕПОРУК

Ольга ПАВЛОВА