

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет електроніки
Кафедра мікроелектроніки

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Дмитро ТАТАРЧУК

«___» _____ 20__ р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Мікро- та наноелектроніка»

спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка»

на тему: «Система моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей»

Виконав:

студент IV курсу, групи ДП-21

Кузнєцов Олександр Вячеславович

Керівник: ст. викл. каф. МЕ, к.т.н.,

Королевич Любомир Миколайович

Консультант з нормоконтролю: доц. каф. МЕ, к.ф.-м.н., с.н.с.,

Свєчніков Георгій Сергійович

Консультант з інформаційних питань: доц. каф. МЕ, к.т.н., доц.,

Діденко Юрій Вікторович

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет _____ Електроніки _____

Кафедра _____ Мікроелектроніки _____

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність _____ 153 Мікро- та наносистемна техніка _____

Освітньо-професійна програма – Мікро- та наноелектроніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Дмитро Дмитрович Татарчук

« _____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

_____ Кузнєцов Олександр Вячеславович _____

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Система моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей.
керівник проєкту старший викладач кафедри МЕ, к.т.н, Любомир Миколайович
Королевич.

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 2026 р. № _____

2. Термін подання студентом роботи « ____ » _____ 2026 року

3. Вихідні дані до роботи: Система моніторингу реальної ємності акумуляторних
батарей.

4. Зміст пояснювальної записки: Система моніторингу реальної ємності
акумуляторних батарей.

5. Перелік графічного матеріалу: схема електрична принципова, друкована
плата, тривимірна модель друкованої плати, рисунки, графіки.

6. Дата видачі завдання: _____ 30.03.2026 _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір та аналіз літературних джерел за темою дослідження.	02.02.2026 - 15.02.2026	
2	Аналіз існуючих методів визначення ємності АКБ та обґрунтування вибору структурної схеми системи.	16.02.2026 - 01.03.2026	
3	Обґрунтування та вибір елементної бази (мікроконтролера, цифрового датчика INA219, модуля RTC).	02.03.2026 - 15.03.2026	
4	Розробка принципової електричної схеми пристрою в середовищі САПР KiCad та розрахунок параметрів вузлів.	16.03.2026 - 29.03.2026	
5	Проектування топології та розведення двохшарової друкованої плати, створення 3D-моделі пристрою.	30.03.2026 - 12.04.2026	
6	Розробка алгоритму роботи системи та написання програмного забезпечення (прошивки) в Arduino IDE.	13.04.2026 - 26.04.2026	
7	Моделювання роботи розробленого пристрою та налагодження програмного коду у середовищі Proteus.	27.04.2026 - 10.05.2026	
8	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу згідно з вимогами нормоконтролю.	11.05.2026 - 24.05.2026	

Студент

_____ Олександр КУЗНЕЦОВ,
(підпис)

Керівник роботи

_____ Любомир КОРОЛЕВИЧ.
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 87 с., 19 рис., 2 табл., 3 дод., 25 джерел.

Об'єкт дослідження: процес моніторингу параметрів акумуляторних батарей та визначення їх фактичної ємності.

Предмет дослідження: процес визначення реальної ємності акумуляторних батарей методом інтегрування струму.

Мета роботи: розробка системи моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей на базі мікроконтролера та дослідження її роботи у середовищі моделювання.

Методи дослідження: аналіз методів визначення ємності акумуляторів, проєктування принципової електричної схеми, розробка друкованої плати, програмування мікроконтролера, моделювання роботи системи у середовищі Proteus та аналіз отриманих результатів.

Результат роботи: розроблено систему моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей на базі мікроконтролера ATmega328P з використанням датчика струму INA219 та модуля реального часу DS3231. Реалізовано алгоритм визначення ємності методом інтегрування струму, UART-моніторинг та моделювання роботи системи у середовищі Proteus.

Ключові слова: акумуляторна батарея, ємність акумулятора, інтегрування струму, ATmega328P, INA219, DS3231, UART, Proteus, KiCad.

ABSTRACT

Qualification work: 87 pages, 19 figures, 2 tables, 3 appendices, 25 references.

Object of research: the process of monitoring battery parameters and determining their actual capacity.

Subject of research: the process of determining the real capacity of rechargeable batteries using the current integration method.

Purpose of the work: development of a system for monitoring the real capacity of rechargeable batteries based on a microcontroller and investigation of its operation in a simulation environment.

Research methods: analysis of battery capacity determination methods, design of an electrical schematic diagram, development of a printed circuit board, microcontroller programming, system simulation in the Proteus environment, and analysis of the obtained results.

Result of the work: a system for monitoring the real capacity of rechargeable batteries based on the ATmega328P microcontroller using the INA219 current sensor and the DS3231 real-time clock module has been developed. An algorithm for capacity determination using the current integration method, UART monitoring, and system simulation in the Proteus environment has been implemented.

Keywords: rechargeable battery, battery capacity, current integration, ATmega328P, INA219, DS3231, UART, Proteus, KiCad.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	5
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1	9
1.1 Загальна характеристика акумуляторних батарей.....	9
1.2 Методи визначення ємності акумуляторних батарей	12
1.3 Аналіз сучасних систем моніторингу акумуляторних батарей.....	17
1.4 Обґрунтування вибору елементної бази та постановка задачі розробки ...	21
Висновки до розділу 1	24
РОЗДІЛ 2	26
2.1 Структурна схема системи.....	26
2.2 Розробка вузла керування на базі мікроконтролера ATmega328P	29
2.3 Розробка вузла вимірювання струму та напруги.....	32
2.4 Розробка системи живлення	36
2.5 Розробка модуля реального часу	39
2.6 Розробка принципової схеми пристрою	42
Висновки до розділу 2	47
РОЗДІЛ 3	49
3.1 Загальний алгоритм роботи системи	49
3.2 Алгоритм визначення ємності акумулятора	53
3.3 Організація обміну даними по інтерфейсу I2C.....	55
3.4 UART-моніторинг та налагодження системи	58
Висновки до розділу 3	61
РОЗДІЛ 4	64
4.1 Розробка друкованої плати	64
4.2 Моделювання системи у середовищі Proteus.....	66
4.3 Аналіз результатів моделювання	69
Висновки до розділу 4	72

	4
ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	76
ДОДАТКИ.....	79
Додаток А.....	80
Додаток Б	81
Додаток В.....	83

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АЦП - аналого-цифровий перетворювач

В - вольт

Гц - герц

ККД - коефіцієнт корисної дії

мА - міліампер

мА·год - міліампер-година

Ом - одиниця електричного опору

PCB (Printed Circuit Board) - друкована плата

RTC (Real Time Clock) - модуль реального часу

UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) - універсальний асинхронний приймач-передавач

I2C (Inter-Integrated Circuit) - двопровідний цифровий інтерфейс передачі даних

OLED (Organic Light Emitting Diode) - органічний світлодіодний дисплей

DC-DC Converter - імпульсний перетворювач постійної напруги

GPIO (General Purpose Input/Output) - універсальні входи/виходи мікроконтролера

BMS (Battery Management System) - система керування акумуляторною батареєю

OneWire - однопровідний цифровий інтерфейс передачі даних

PWM (Pulse Width Modulation) - широтно-імпульсна модуляція

TX - лінія передачі даних

RX - лінія прийому даних

SDA (Serial Data Line) - лінія передачі даних інтерфейсу I2C

SCL (Serial Clock Line) - лінія тактової синхронізації інтерфейсу I2C

MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) - польовий транзистор з ізольованим затвором

Proteus - програмне середовище моделювання електронних схем

KiCad - система автоматизованого проєктування електронних схем та друкованих плат

IDE (Integrated Development Environment) - інтегроване середовище розробки програмного забезпечення

LFP - літій-залізо-фосфатний акумулятор $LiFePO_4$

LCO - літій-кобальтовий акумулятор $LiCoO_2$

LMO - літій-марганцевий акумулятор $LiMn_2O_4$

NMC - літій-нікель-марганець-кобальтовий акумулятор $LiNiMnCoO_2$

LTO - літій-титанатний акумулятор $Li_4Ti_5O_{12}$

NCA - літій-нікель-кобальт-алюмінієвий акумулятор $LiNiCoAlO_2$

АКБ - акумуляторна батарея

МК – мікроконтролер

ПЗ – програмне забезпечення

САПР - система автоматизованого проєктування

ІС - інтегральна схема / мікросхема

ШИМ - широтно-імпульсна модуляція

SOH (State of Health) - відносний стан «здоров'я» акумулятора, що визначає ступінь його деградації

VSM (*Virtual System Modeling*) - технологія віртуального моделювання систем, що використовується в середовищі Proteus

SOC (State of Charge) - відносний рівень (стан) заряду акумуляторної батареї у відсотках

ВСТУП

У сучасному світі акумуляторні батареї є невід'ємною складовою більшості електронних та електротехнічних систем. Вони широко використовуються у портативній електроніці, системах резервного живлення, телекомунікаційному обладнанні, електротранспорті, промислових системах автоматизації та багатьох інших сферах. Постійне зростання кількості автономних пристроїв призводить до підвищення вимог до ефективності використання джерел живлення та необхідності контролю їх технічного стану.

Одним із найважливіших параметрів акумуляторної батареї є її ємність, яка визначає кількість електричної енергії, що може бути передана навантаженню протягом певного часу. У процесі експлуатації акумуляторів їх характеристики поступово погіршуються внаслідок старіння, температурного впливу, перевантажень та великої кількості циклів заряду-розряду. Через це фактична ємність батареї може суттєво відрізнятися від номінального значення, зазначеного виробником.

Недостатньо точний контроль ємності акумуляторних батарей може призводити до нестабільної роботи обладнання, скорочення часу автономної роботи та передчасного виходу акумуляторів з ладу. Саме тому актуальною задачею є створення систем, здатних виконувати точне визначення фактичної ємності акумулятора у процесі його роботи.

Сучасні системи моніторингу акумуляторних батарей базуються на використанні мікроконтролерів, цифрових датчиків струму та систем контролю температури. Використання мікроконтролерних технологій дозволяє реалізувати компактні та функціональні пристрої, здатні виконувати вимірювання параметрів акумулятора у режимі реального часу, обробляти отримані дані та відображати результати користувачу.

Одним із найбільш ефективних методів визначення фактичної ємності є метод інтегрування струму під час контрольного розряду акумулятора. Даний метод базується на безперервному вимірюванні струму навантаження та

підрахунку кількості переданого електричного заряду протягом часу роботи батареї. Реалізація такого підходу потребує використання точних вимірювальних модулів, стабільної системи підрахунку часу та ефективного програмного алгоритму обробки даних.

Актуальність теми дипломної роботи полягає у необхідності створення доступної та ефективної системи моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей із використанням сучасної елементної бази та мікроконтролерних технологій. Розроблена система дозволяє контролювати основні параметри акумулятора, виконувати обчислення ємності у режимі реального часу та забезпечувати відображення результатів вимірювання.

Метою дипломної роботи є розробка системи моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей на базі мікроконтролера ATmega328P із використанням цифрового датчика струму та програмного алгоритму інтегрування струму.

Предметом дослідження є мікроконтролерна система моніторингу параметрів акумуляторної батареї та алгоритм інтегрування струму для визначення фактичної ємності.

У результаті виконання дипломної роботи буде розроблена мікроконтролерна система моніторингу акумуляторних батарей, яка забезпечує вимірювання струму, напруги та часу роботи акумулятора з подальшим обчисленням фактичної ємності у режимі реального часу.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЄМНОСТІ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

1.1 Загальна характеристика акумуляторних батарей

У сучасних електронних пристроях акумуляторні батареї є одним із основних джерел автономного живлення [1]. Вони широко використовуються у портативній техніці, системах резервного живлення, електротранспорті, телекомунікаційному обладнанні та промислових системах автоматизації. Постійне зростання кількості автономних пристроїв призводить до необхідності підвищення ефективності контролю стану акумуляторних батарей та визначення їх фактичних характеристик.

Одним із найважливіших параметрів акумуляторної батареї є її ємність. Саме ємність визначає кількість електричної енергії, яку батарея здатна віддати навантаженню протягом певного часу. Від значення ємності безпосередньо залежить тривалість автономної роботи електронного пристрою, стабільність його функціонування та ефективність експлуатації джерела живлення.

Під час експлуатації акумуляторних батарей їх характеристики поступово змінюються. Зі збільшенням кількості циклів заряду та розряду відбувається деградація активних елементів батареї, що призводить до зменшення фактичної ємності. Крім того, на стан акумулятора впливають температура, режим навантаження, струм розряду та умови зберігання.

У більшості випадків номінальна ємність, зазначена виробником, не відповідає реальному стану акумулятора після тривалого використання. Саме тому виникає необхідність створення систем моніторингу, які дозволяють визначати фактичну ємність акумуляторної батареї у процесі її роботи.

Таблиця 1.1 - Порівняльні характеристики сучасних хімічних типів акумуляторних батарей [2]

Тип АКБ	Термін служби(довший - краще)	Питома енергія(вища - краще)	Питома потужність(вища - краще)
LFP	Дуже тривалий	Помірна	Висока
LCO	Помірний	Висока	Низька
LMO	Дуже короткий	Низька	Помірна
NMC	Тривалий	Висока	Помірна
LTO	Дуже тривалий	Дуже низька	Помірна
NCA	Короткий	Дуже висока	Помірна

Кожен тип акумуляторів має власні особливості, переваги та обмеження. Свинцево-кислотні батареї характеризуються низькою вартістю та високою надійністю, однак мають значну масу та обмежений ресурс роботи. Літій-іонні акумулятори забезпечують високу енергетичну щільність та широко використовуються у сучасній портативній електроніці. Літій-полімерні батареї відрізняються компактністю та можливістю виготовлення у різних формах, а нікель-металогідридні акумулятори характеризуються підвищеною екологічністю та стійкістю до перевантажень.

Основними характеристиками акумуляторних батарей є:

- номінальна напруга;
- ємність;
- внутрішній опір;
- допустимий струм розряду;
- кількість циклів заряду-розряду;
- температурний режим роботи.

Однією з найважливіших характеристик є саме ємність акумулятора. Вона визначається кількістю електричного заряду, який може бути переданий навантаженню під час процесу розряду. Ємність вимірюється в ампер-годинах або міліампер-годинах.

Математично ємність акумулятора визначається за формулою [3]:

$$Q = I \cdot t \quad (1.1)$$

де Q -ємність акумулятора, I - струм розряду, а t - час роботи під навантаженням.

У реальних умовах значення ємності залежить від багатьох факторів [4]. При збільшенні струму навантаження фактична ємність акумулятора зменшується через внутрішні втрати енергії. Крім того, на роботу батареї суттєво впливає температура навколишнього середовища. При низьких температурах погіршується хімічна активність елементів живлення, що призводить до зменшення доступної ємності.

Для забезпечення стабільної роботи сучасних електронних систем необхідно контролювати стан акумуляторної батареї та своєчасно визначати зменшення її фактичної ємності. Це особливо важливо для:

- систем резервного живлення;
- автономних електронних пристроїв;
- медичного обладнання;
- телекомунікаційних систем;
- електротранспорту.

Деякі сучасні системи моніторингу дозволяють контролювати:

- напругу акумулятора;
- струм розряду;
- температуру;
- рівень заряду;
- фактичну ємність батареї.

Для реалізації таких систем широко використовуються мікроконтролери, цифрові датчики струму та модулі реального часу. Використання мікроконтролерних систем дозволяє виконувати обробку вимірюваних параметрів у реальному часі та реалізовувати складні алгоритми оцінки стану акумуляторних батарей.

Одним із найбільш точних методів визначення фактичної ємності є метод інтегрування струму під час контрольного розряду акумулятора. Даний метод базується на безперервному вимірюванні струму та підрахунку переданого електричного заряду протягом часу роботи батареї.

У даній дипломній роботі розробляється система моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей на базі мікроконтролера ATmega328P. Система забезпечує вимірювання струму, напруги, температури та часу роботи акумулятора з подальшим обчисленням фактичної ємності у реальному часі.

Таким чином, акумуляторні батареї є важливим елементом сучасних електронних систем, а контроль їх реального стану дозволяє підвищити надійність, безпечність та ефективність експлуатації автономних джерел живлення.

1.2 Методи визначення ємності акумуляторних батарей

Однією з основних задач під час експлуатації акумуляторних батарей є визначення їх фактичної ємності. Від точності оцінки цього параметра залежить ефективність використання джерела живлення, стабільність роботи електронного обладнання та можливість прогнозування залишкового ресурсу акумулятора. У сучасних системах електроживлення використовується декілька методів визначення ємності, які відрізняються принципом роботи, точністю та складністю реалізації.

Фактична ємність акумулятора не є постійною величиною. Вона змінюється в залежності від температури, режиму навантаження, швидкості розряду, ступеня старіння батареї та кількості циклів заряду-розряду. Саме тому для побудови ефективної системи моніторингу необхідно правильно обрати метод оцінки ємності.

Найпростішим способом оцінки стану акумулятора є вимірювання напруги на його виводах. Даний метод базується на тому, що напруга батареї поступово

змінюється у процесі заряду або розряду. За отриманим значенням напруги можна приблизно оцінити рівень заряду акумулятора.

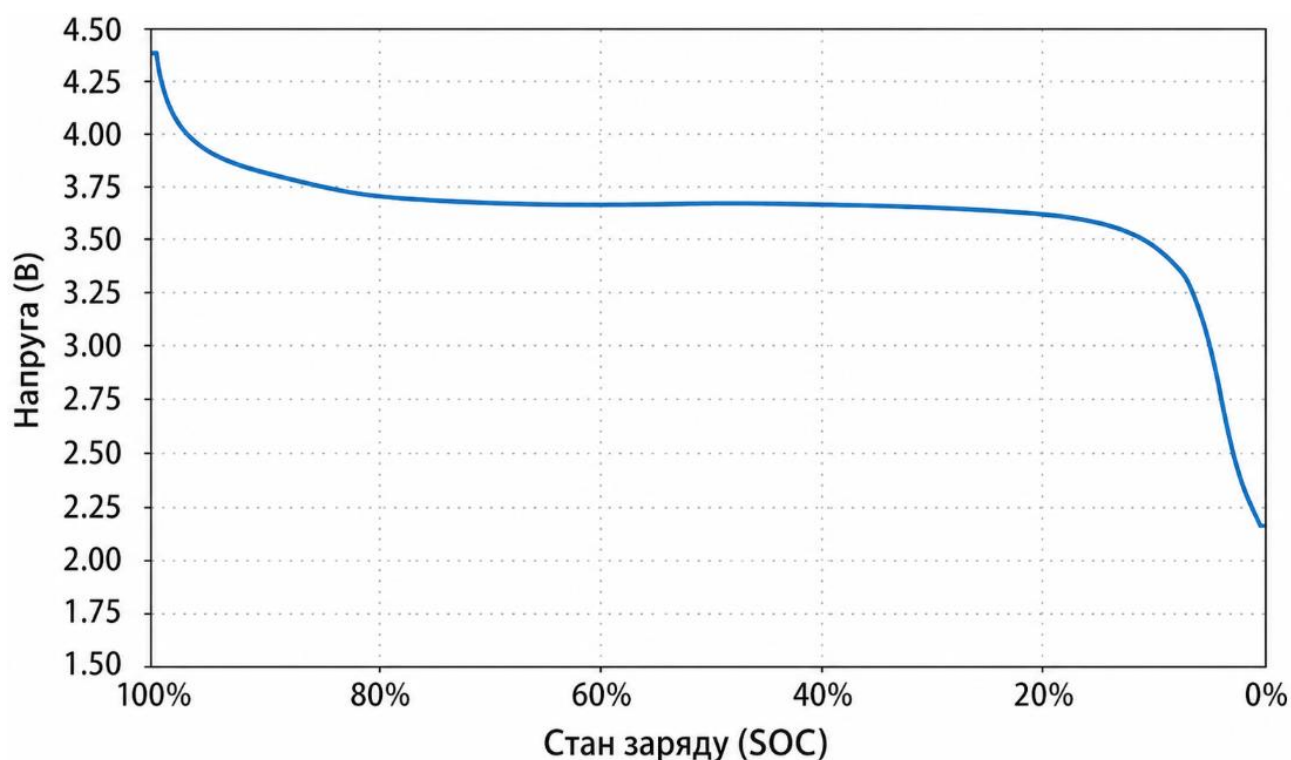


Рисунок 1.1 - Залежність напруги акумулятора від рівня заряду [5]

Основною перевагою цього методу є простота реалізації, оскільки для вимірювання достатньо лише контролювати напругу батареї. Однак такий підхід має низьку точність, оскільки напруга значною мірою залежить від струму навантаження та температури. Крім того, у багатьох типах акумуляторів зміна напруги під час розряду відбувається нерівномірно, що ускладнює визначення фактичної ємності.

Іншим поширеним методом є оцінка внутрішнього опору акумулятора. Відомо, що у процесі старіння батареї її внутрішній опір поступово збільшується. За величиною внутрішнього опору можна оцінити ступінь деградації акумулятора та приблизно визначити його залишкову ємність.

Для реалізації такого методу необхідно виконувати вимірювання струму та напруги при різних режимах навантаження.

Після цього внутрішній опір визначається відповідно до закону Ома [6]:

$$R = \frac{\Delta U}{\Delta I} \quad 1.2$$

де R - внутрішній опір акумулятора, ΔU - зміна напруги, а ΔI - відповідна зміна струму навантаження.

Незважаючи на можливість оцінки стану батареї, метод внутрішнього опору також не забезпечує високої точності визначення фактичної ємності. Значення внутрішнього опору залежить від температури, режиму навантаження та типу акумулятора, що ускладнює побудову універсальної системи контролю.

Одним із найбільш ефективних методів є метод інтегрування струму, який також називають методом Coulomb Counting [7]. Саме цей метод використовується у сучасних системах керування акумуляторними батареями та дозволяє визначати фактичну кількість електричного заряду, переданого навантаженню.

Суть методу полягає у безперервному вимірюванні струму розряду та накопиченні результату протягом часу роботи акумулятора. Ємність визначається як інтеграл струму за часом:

$$Q = \int_0^t I(t) dt \quad (1.3)$$

У мікроконтролерних системах інтегрування зазвичай реалізується у дискретному вигляді шляхом періодичного вимірювання струму через певні інтервали часу. Такий підхід дозволяє виконувати обчислення у реальному часі та забезпечує достатньо високу точність.

Основною перевагою методу інтегрування струму є можливість отримання фактичного значення ємності незалежно від типу акумулятора. Крім того, даний

метод дозволяє виконувати моніторинг параметрів батареї у процесі її роботи без необхідності складних математичних моделей.

Однак для забезпечення високої точності необхідно використовувати:

- точний датчик струму;
- стабільний вимір часу;
- коректну систему обробки даних.

Похибки вимірювання струму або часу можуть накопичуватись протягом тривалого розряду, що призводить до помилок у визначенні ємності. Саме тому у сучасних системах використовуються цифрові датчики струму та модулі реального часу.

Ще одним методом визначення стану акумулятора є використання математичних моделей та алгоритмів прогнозування. У таких системах враховуються:

- температура батареї;
- режим навантаження;
- швидкість розряду;
- історія використання акумулятора.

Подібні методи використовуються у складних системах керування батареями електромобілів та промислових системах енергозбереження. Проте реалізація таких алгоритмів потребує значних обчислювальних ресурсів та складного програмного забезпечення.

Для даної дипломної роботи був обраний саме метод інтегрування струму, оскільки він забезпечує достатню точність, відносну простоту реалізації та можливість використання у мікроконтролерних системах. Даний метод добре підходить для реалізації у складі системи моніторингу на базі ATmega328P та дозволяє виконувати обчислення фактичної ємності у режимі реального часу.

Таблиця 1.2 - Порівняння методів визначення ємності акумулятора [8]

Метод	Переваги	Недоліки	δ (%)
Напруга розімкненого кола	1) Простий метод 2) Легка реалізація 3) Середній рівень точності 4) Економічно вигідний	1) Не підходить для онлайн-використання 2) Калібрування потребує часу та певних умов 3) Залежить від початкового значення SOC	-
Підрахунок заряду (кулонів)	1) Низьке енергоспоживання 2) Легка реалізація 3) Простий метод	1) Низька точність 2) Складнощі у визначенні реальних значень SOC 3) Потребує регулярного перекалібрування та вимірювань	± 4
Електрохімічна імпедансна спектроскопія (EIS)	1) Працює онлайн 2) Хороша точність 3) Може поєднуватися з оцінкою стану здоров'я (SoH)	1) Потребує сенсорів, які не є комерційно доступними для акумуляторних батарей 2) Вимагає постійного калібрування 3) Висока чутливість до температури	-
Модельний підхід	1) Працює онлайн 2) Висока точність	1) Точність сильно залежить від якості моделі	$\leq \pm 5$
Адаптивні фільтраційні методи	1) Забезпечує функцію самокорекції 2) Висока точність	1) Складні обчислення та моделі 2) Важко реалізувати	$\leq \pm 1.8$
Алгоритми машинного навчання	1) Забезпечує надійний метод оцінювання 2) Наявність прогнозної функції	1) Високі обчислювальні вимоги 2) Потребує великого обсягу пам'яті 3) Можливе перенавчання	$\leq \pm 4.4$
Нелінійний спостерігач	1) Може враховувати складну поведінку 2) Динамічне оцінювання	1) Чутливий до структури моделі 2) Складно реалізувати та проєктувати для лінійних моделей	$\leq \pm 3.8$

Під час розробки системи особлива увага приділяється точності вимірювання струму та стабільності підрахунку часу. Для цього у проєкті використовуються цифровий датчик INA219 та модуль реального часу DS3231. Отримані дані обробляються мікроконтролером та використовуються для визначення накопиченої ємності акумуляторної батареї.

Таким чином, існує декілька методів визначення ємності акумуляторних батарей, проте найбільш ефективним для реалізації у мікроконтролерній системі є метод інтегрування струму. Він забезпечує достатню точність, дозволяє працювати у реальному часі та не потребує складних математичних моделей для реалізації системи моніторингу.

1.3 Аналіз сучасних систем моніторингу акумуляторних батарей

У сучасних електронних системах контроль стану акумуляторних батарей є важливою складовою забезпечення стабільної та безпечної роботи обладнання. Зі збільшенням кількості автономних пристроїв значно зросли вимоги до точності визначення рівня заряду, фактичної ємності та технічного стану акумуляторів. Саме тому у багатьох галузях активно використовуються спеціалізовані системи моніторингу акумуляторних батарей.

Системи моніторингу застосовуються у:

- портативній електроніці;
- системах резервного живлення;
- електротранспорті;
- промислових системах автоматизації;
- телекомунікаційному обладнанні.

Основною задачею таких систем є постійний контроль параметрів акумулятора у процесі його роботи. Найчастіше контролюються напруга, струм, температура та рівень заряду батареї. У більш складних системах також виконується оцінка деградації акумулятора та прогнозування його залишкового ресурсу.

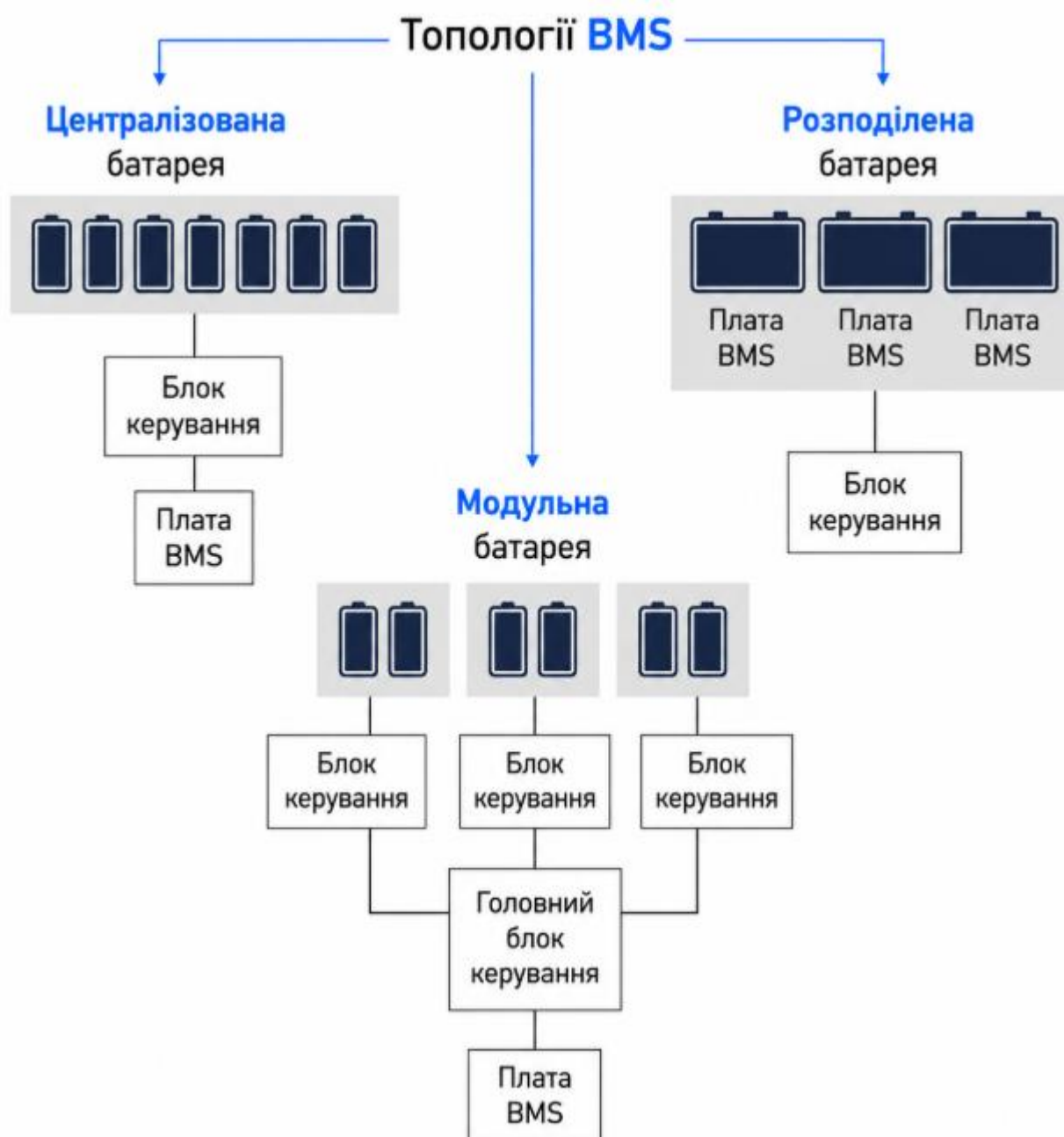


Рисунок 1.2 - Приклади сучасних систем моніторингу акумуляторних батарей [9]

Найпростішими системами контролю є вбудовані індикатори рівня заряду, які використовуються у мобільних пристроях та портативній техніці. Такі системи зазвичай виконують лише приблизну оцінку стану батареї на основі вимірювання напруги. Основною перевагою такого підходу є низька складність реалізації та мінімальна кількість необхідних компонентів. Однак точність подібних систем є невисокою, особливо при змінному навантаженні або значному старінні акумулятора.

Більш складні системи використовують метод інтегрування струму, який дозволяє визначати фактичну кількість переданого електричного заряду. У таких системах застосовуються спеціалізовані датчики струму та мікроконтролери, які виконують обробку виміряних параметрів у реальному часі. Саме подібний підхід використовується у сучасних системах Battery Management System (BMS).

Системи BMS виконують не лише моніторинг параметрів акумулятора, а й забезпечують:

- захист від перезаряду;
- захист від глибокого розряду;
- контроль температури;
- балансування елементів батареї;
- контроль струму навантаження.

Особливо важливими BMS є у літій-іонних акумуляторних батареях, оскільки даний тип акумуляторів чутливий до перевищення допустимих режимів роботи. Порушення температурного режиму або перевищення напруги може призвести до пошкодження батареї або виникнення аварійної ситуації.

У сучасних системах моніторингу широко використовуються цифрові датчики струму та напруги. Одним із популярних рішень є використання мікросхем серії INA219, які дозволяють виконувати вимірювання струму, напруги та потужності через цифровий інтерфейс I2C [10]. Застосування цифрових датчиків значно спрощує побудову системи та підвищує точність вимірювань.

Для обробки даних у подібних системах найчастіше використовуються мікроконтролери. Вони забезпечують:

- зчитування даних з датчиків;
- виконання математичних обчислень;
- реалізацію алгоритмів контролю;
- відображення інформації;
- передачу даних користувачу.

Серед популярних мікроконтролерних платформ можна виділити Arduino, STM32 та ESP32. Вони відрізняються продуктивністю, набором периферії та складністю програмування. Для невеликих систем моніторингу найбільш доцільним є використання мікроконтролерів AVR-серії завдяки їх простоті, доступності та великій кількості готових бібліотек [11].

Деякі сучасні системи моніторингу можуть виконувати температурний контроль. Відомо, що температура впливає на характеристики акумуляторної батареї. При перегріві прискорюється деградація елементів живлення, а при низьких температурах зменшується доступна ємність акумулятора.

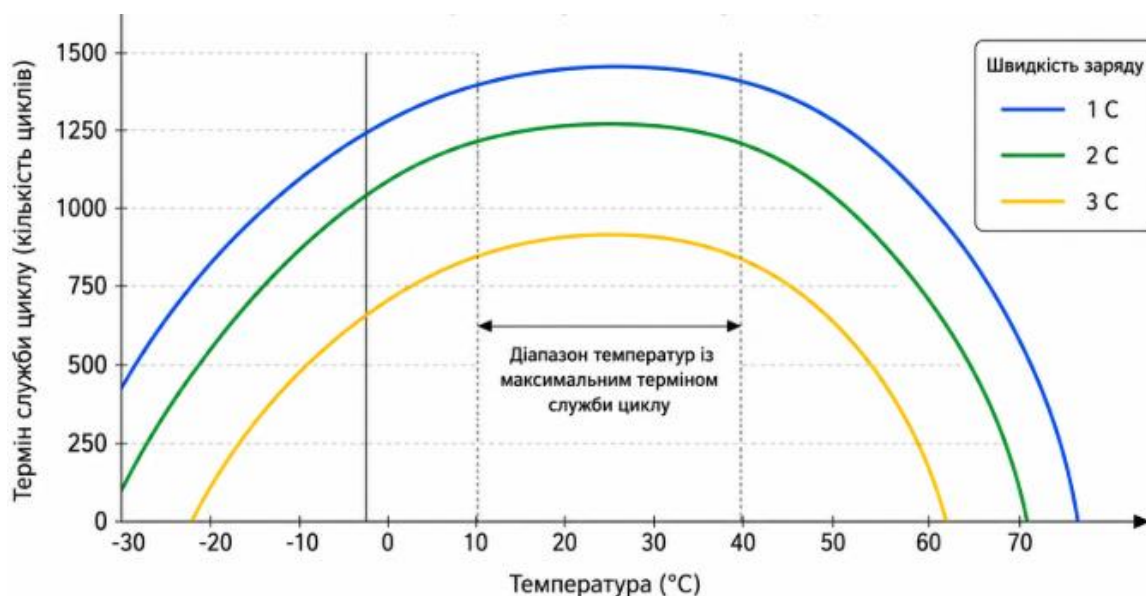


Рисунок 1.3 - Вплив температури на роботу акумуляторної батареї [12]

У багатьох сучасних системах також реалізується можливість передачі даних на зовнішні пристрої або сервери моніторингу. Для цього використовуються:

- UART;
- Bluetooth;
- Wi-Fi;
- CAN;

Подібні рішення дозволяють організувати дистанційний контроль параметрів акумуляторних батарей та виконувати аналіз їх стану у режимі реального часу.

Незважаючи на значну кількість існуючих систем моніторингу, багато з них мають високу вартість або складну структуру. Крім того, деякі комерційні рішення не дозволяють виконувати точне визначення фактичної ємності акумулятора без використання спеціалізованого обладнання.

Саме тому актуальною задачею є розробка компактної мікроконтролерної системи, яка забезпечує:

- вимірювання струму та напруги;
- визначення фактичної ємності;
- відображення результатів у реальному часі.

У даній дипломній роботі пропонується реалізація такої системи на базі мікроконтролера ATmega328P з використанням цифрового датчика INA219, модуля реального часу DS3231. Використання цифрових інтерфейсів дозволяє спростити структуру системи та забезпечити достатню точність вимірювань. У системі передбачена можливість підключення додаткових модулів відображення інформації та температурного контролю для подальшого розширення функціоналу пристрою.

Таким чином, сучасні системи моніторингу акумуляторних батарей відіграють важливу роль у забезпеченні надійної роботи електронних пристроїв.

1.4 Обґрунтування вибору елементної бази та постановка задачі розробки

Після аналізу існуючих методів визначення ємності акумуляторних батарей та сучасних систем моніторингу було встановлено, що для реалізації компактної та функціональної системи доцільно використовувати мікроконтролерний підхід із цифровими датчиками вимірювання параметрів. Такий підхід дозволяє забезпечити достатню точність вимірювань, простоту реалізації та можливість роботи системи у режимі реального часу.

Одним із головних етапів розробки є правильний вибір елементної бази. Саме від вибору компонентів залежить стабільність роботи системи, точність визначення ємності акумулятора, складність програмної реалізації та можливість подальшої модернізації пристрою.

У якості центрального керуючого вузла системи було обрано мікроконтролер ATmega328P [13]. Даний мікроконтролер є достатньо поширеним у вбудованих системах та добре підходить для реалізації пристроїв із невеликою кількістю периферійних модулів. Основними перевагами ATmega328P є підтримка інтерфейсів UART та I2C, низьке енергоспоживання, достатній обсяг пам'яті та велика кількість готових програмних бібліотек.

Для вимірювання струму та напруги у системі використовується цифровий датчик INA219. Вибір саме цього датчика обумовлений можливістю одночасного вимірювання струму, напруги та потужності через інтерфейс I2C. Крім того, INA219 має достатню точність вимірювань та не потребує складних аналогових схем обробки сигналів. Використання цифрового датчика значно спрощує реалізацію системи та дозволяє зменшити кількість зовнішніх компонентів.

Для точного визначення тривалості процесу розряду акумулятора у системі використовується модуль реального часу DS3231 [14]. Даний модуль характеризується високою точністю та наявністю температурної компенсації кварцового генератора. Це дозволяє мінімізувати похибку вимірювання часу, яка безпосередньо впливає на точність визначення ємності акумуляторної батареї.

У структурі системи передбачена можливість підключення цифрового температурного датчика для подальшого контролю теплового режиму акумулятора.

У системі передбачена можливість підключення OLED-дисплея для локального відображення параметрів [15].

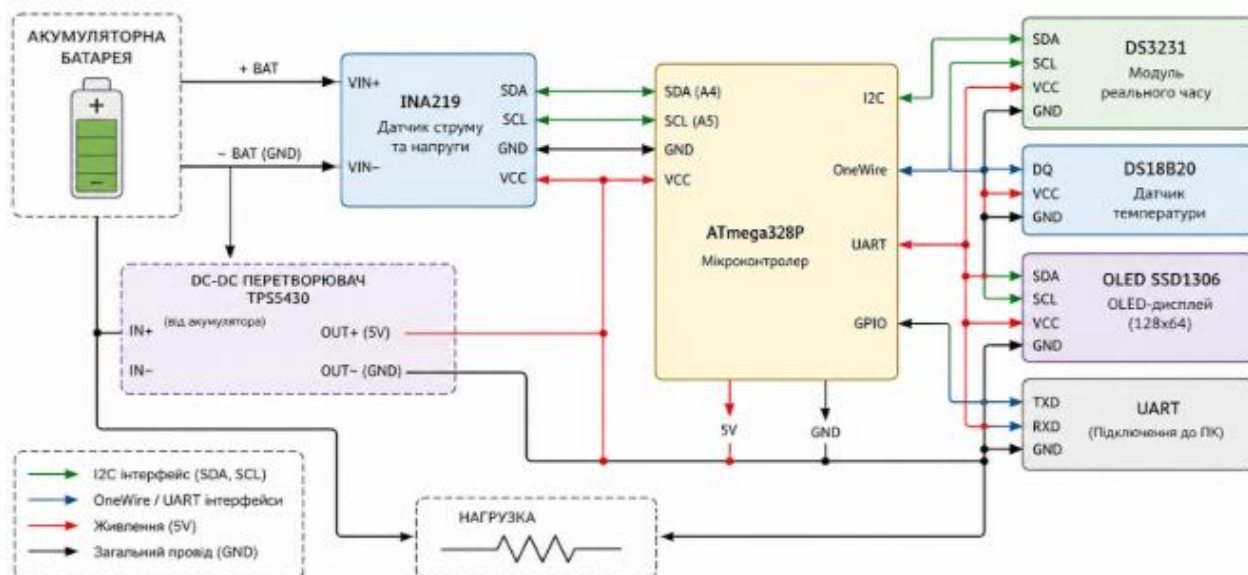


Рисунок 1.4 - Структурна взаємодія компонентів системи

Для забезпечення стабільного живлення всіх електронних компонентів у системі використовується імпульсний DC-DC перетворювач на базі мікросхеми TPS5430. Використання імпульсного стабілізатора дозволяє забезпечити високий коефіцієнт корисної дії та зменшити теплові втрати у системі. Це особливо важливо при роботі з акумуляторними батареями та автономними джерелами живлення.

Під час розробки системи особлива увага приділялась використанню цифрових інтерфейсів передачі даних. Більшість модулів взаємодіють із мікроконтролером через інтерфейс I2C, що дозволяє значно спростити структуру пристрою та зменшити кількість сигнальних ліній. Такий підхід також полегшує трасування друкованої плати та підвищує стабільність роботи системи.

Основною задачею дипломної роботи є розробка системи моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей, яка забезпечує вимірювання основних параметрів акумулятора та виконує обчислення фактичної ємності методом інтегрування струму. Система повинна працювати у режимі реального часу та забезпечувати відображення результатів на UART-інтерфейс.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- виконати аналіз існуючих методів визначення ємності акумуляторів;
- розробити структурну та принципову схему пристрою;
- реалізувати алгоритм інтегрування струму;
- забезпечити контроль часу роботи;
- розробити друковану плату пристрою;
- виконати моделювання системи у середовищі Proteus.

У результаті виконання дипломної роботи повинна бути створена працездатна мікроконтролерна система, здатна визначати фактичну ємність акумуляторної батареї у процесі її контрольного розряду. Система має забезпечувати достатню точність вимірювань, стабільну роботу та можливість подальшої модернізації.

Таким чином, вибрана елементна база дозволяє реалізувати компактну та функціональну систему моніторингу акумуляторних батарей із використанням сучасних цифрових компонентів та мікроконтролерних технологій.

Висновки до розділу 1

У першому розділі дипломної роботи було проведено аналіз сучасних акумуляторних батарей, методів визначення їх фактичної ємності та існуючих систем моніторингу параметрів джерел живлення. У процесі аналізу було встановлено, що проблема точного визначення реальної ємності акумуляторів є актуальною для сучасних електронних систем, оскільки в процесі експлуатації характеристики батарей поступово змінюються внаслідок старіння, температурного впливу та режимів навантаження.

Було розглянуто основні типи акумуляторних батарей, які використовуються у сучасній техніці, а також визначено основні параметри, що впливають на їх роботу. Особливу увагу приділено ємності акумулятора як одному з головних показників ефективності джерела живлення. Встановлено, що фактична ємність може суттєво відрізнятись від номінального значення, зазначеного виробником.

У процесі дослідження було проаналізовано основні методи визначення ємності акумуляторних батарей. Розглянуто метод оцінки за напругою, метод визначення внутрішнього опору та метод інтегрування струму. Порівняльний аналіз показав, що найбільш ефективним для реалізації у мікроконтролерній системі є метод інтегрування струму, оскільки саме він дозволяє отримувати фактичне значення ємності у процесі контрольного розряду акумулятора.

Також було виконано аналіз сучасних систем моніторингу акумуляторних батарей та встановлено, що більшість сучасних рішень базується на використанні мікроконтролерів, цифрових датчиків струму та систем температурного контролю. Виявлено, що використання цифрових інтерфейсів дозволяє значно спростити побудову системи та підвищити точність вимірювань.

На основі проведеного аналізу було обґрунтовано вибір елементної бази для розробки системи моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей. У якості центрального керуючого вузла обрано мікроконтролер ATmega328P, для вимірювання струму та напруги - цифровий датчик INA219, для контролю часу - модуль DS3231. Для відображення інформації у реальному часі використовується UART-інтерфейс.

У результаті проведеного аналізу було сформульовано основну задачу дипломної роботи, яка полягає у розробці мікроконтролерної системи моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей із можливістю вимірювання струму, напруги, та обчислення фактичної ємності методом інтегрування струму у режимі реального часу.

Отримані результати створюють основу для подальшої розробки апаратної та програмної частини системи, що буде розглянуто у наступних розділах дипломної роботи.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ

2.1 Структурна схема системи

Після проведення аналізу методів визначення ємності акумуляторних батарей та вибору елементної бази наступним етапом дипломної роботи є розробка апаратної частини системи. Основою будь-якої електронної системи є її структурна схема, яка визначає взаємодію між окремими функціональними вузлами пристрою та дозволяє сформуванню загальної архітектури системи.

Структурна схема системи моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей розроблена таким чином, щоб забезпечити вимірювання основних параметрів акумулятора, виконання обчислень у режимі реального часу та відображення результатів користувачу. Під час розробки особлива увага приділялась простоті побудови системи, стабільності роботи цифрових інтерфейсів та можливості подальшої модернізації пристрою.

Основним елементом системи є мікроконтролер ATmega328P, який виконує функції центрального керуючого вузла. Мікроконтролер забезпечує взаємодію між усіма периферійними модулями, обробляє результати вимірювання та реалізує алгоритм визначення фактичної ємності акумулятора методом інтегрування струму.

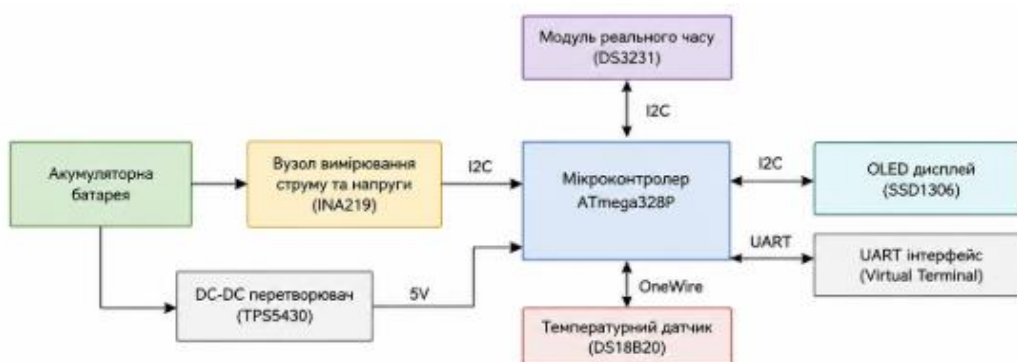


Рисунок 2.1 - Структурна схема системи моніторингу акумуляторних батарей

До мікроконтролера підключений цифровий датчик INA219, який використовується для вимірювання струму та напруги акумуляторної батареї. Датчик виконує перетворення аналогових сигналів у цифровий формат та передає результати вимірювання через інтерфейс I2C. Використання цифрового вимірювального модуля дозволяє зменшити вплив шумів та спростити побудову системи.

Для забезпечення точного контролю часу у системі використовується модуль реального часу DS3231. Даний модуль забезпечує стабільний підрахунок часових інтервалів, що є важливим для правильного обчислення ємності акумулятора. Наявність температурної компенсації генератора у DS3231 дозволяє зменшити похибку вимірювання часу навіть при зміні температури навколишнього середовища.

Передбачено можливе викорисання додаткових периферійних модулів таких як, сенсор температури та OLED дисплей.

Передача службової інформації та результатів вимірювання також здійснюється через UART-інтерфейс. Використання UART дозволяє виконувати налагодження системи у процесі моделювання та аналізувати результати роботи пристрою за допомогою Virtual Terminal у середовищі Proteus.

Живлення системи реалізується за допомогою імпульсного DC-DC перетворювача TPS5430. Даний вузол забезпечує стабільне живлення мікроконтролера та периферійних модулів при високому коефіцієнті корисної дії. Використання імпульсного стабілізатора дозволяє зменшити втрати потужності та знизити нагрів елементів системи.

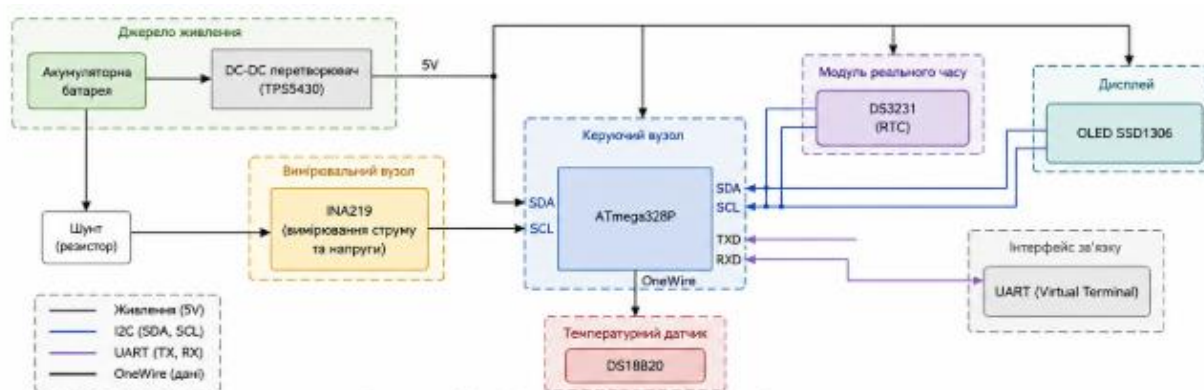


Рисунок 2.2 – Взаємодія основних вузлів системи

Рисунок 2.2 - Взаємодія основних вузлів системи

Під час розробки структури системи особлива увага приділялась використанню цифрових інтерфейсів передачі даних. Більшість модулів підключені до мікроконтролера через інтерфейс I2C, що дозволяє значно зменшити кількість сигнальних ліній та спростити трасування друкованої плати. Крім того, такий підхід підвищує надійність роботи системи та забезпечує можливість легкого підключення додаткових модулів.

Принцип роботи системи полягає у безперервному контролі параметрів акумуляторної батареї під час її розряду. Датчик INA219 виконує вимірювання струму та напруги, після чого мікроконтролер отримує ці дані через інтерфейс I2C. На основі отриманих значень та часових інтервалів виконується обчислення накопиченої ємності акумулятора.

Обчислення ємності базується на методі інтегрування струму, який дозволяє визначити кількість електричного заряду, переданого навантаженню за певний проміжок часу:

$$Q = \int_0^t I(t) dt \quad (2.1)$$

Отримані результати відображаються через UART-інтерфейс для подальшого аналізу.

Під час проєктування структури системи враховувались вимоги до:

- стабільності роботи;
- точності вимірювання;
- мінімізації шумів;
- простоти реалізації;
- можливості модернізації.

У результаті була сформована компактна структура системи, яка забезпечує стабільну взаємодію між усіма вузлами пристрою та дозволяє реалізувати функції моніторингу параметрів акумуляторної батареї у режимі реального часу.

Таким чином, розроблена структурна схема визначає загальну архітектуру системи моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей та створює основу для подальшої розробки принципової електричної схеми пристрою.

2.2 Розробка вузла керування на базі мікроконтролера ATmega328P

Центральним елементом розробленої системи моніторингу акумуляторних батарей є мікроконтролерний вузол керування, побудований на базі ATmega328P. Саме цей вузол забезпечує координацію роботи всіх компонентів системи, виконує обробку результатів вимірювання та реалізує алгоритм визначення фактичної ємності акумуляторної батареї.

Вибір мікроконтролера ATmega328P обумовлений його достатньою продуктивністю, простотою програмування та наявністю необхідних цифрових інтерфейсів. Даний мікроконтролер широко використовується у вбудованих системах та добре підтримується середовищем Arduino IDE, що значно спрощує процес розробки програмного забезпечення та тестування системи.

ATmega328P побудований на базі 8-бітної AVR-архітектури та працює на тактовій частоті 16 МГц. Мікроконтролер містить вбудовану Flash-пам'ять для зберігання програмного коду, оперативну пам'ять SRAM та EEPROM-пам'ять для збереження службових параметрів. Наявність достатнього обсягу пам'яті

дозволяє реалізувати алгоритми обробки даних, роботу з дисплеєм та обмін інформацією з периферійними модулями.

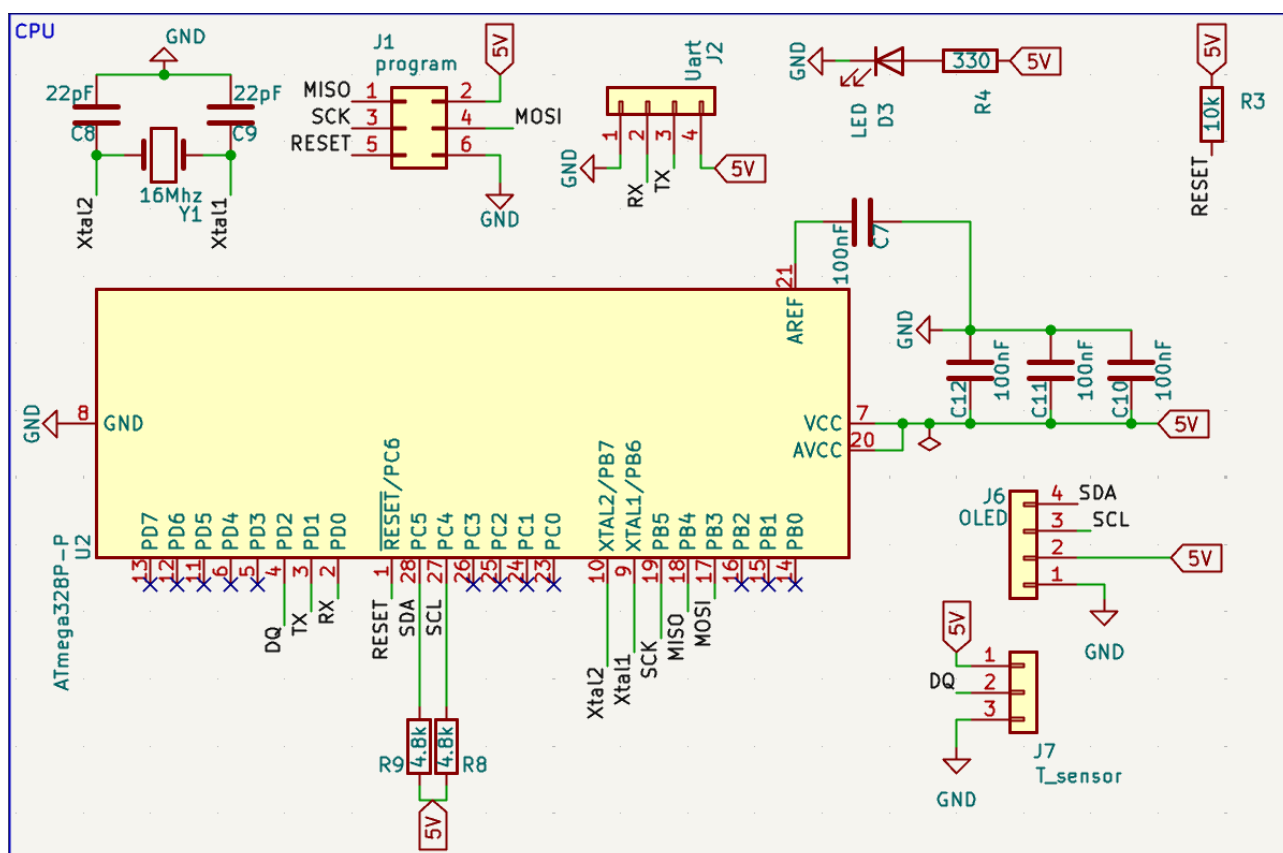


Рисунок 2.3 - Мікроконтролерний вузол системи

У системі мікроконтролер виконує декілька основних функцій. Він здійснює зчитування даних з датчика струму INA219, отримує часові дані від модуля DS3231, обробляє інформацію з температурного датчика та забезпечує оновлення даних на OLED-дисплеї. Крім того, мікроконтролер виконує передачу результатів вимірювання через UART-інтерфейс у Virtual Terminal середовища Proteus.

Для стабільної роботи мікроконтролера використовується зовнішній кварцовий резонатор частотою 16 МГц. Використання зовнішнього генератора дозволяє забезпечити точність тактової частоти та стабільну роботу цифрових інтерфейсів. Особливо важливим це є для UART та I2C, оскільки похибка тактової частоти може призвести до помилок передачі даних.

Кварцовий резонатор підключається до виводів XTAL1 та XTAL2 мікроконтролера через два конденсатори ємністю 22 пФ. Така схема є типовою для мікроконтролерів AVR та забезпечує стабільний запуск генератора після подачі живлення.

Особлива увага під час розробки вузла керування приділялась системі живлення мікроконтролера. Для забезпечення стабільної роботи ATmega328P використовується напруга 5 В, яка формується імпульсним DC-DC перетворювачем. На лініях живлення встановлені фільтруючі конденсатори, які дозволяють зменшити рівень шумів та пульсацій напруги.

Біля виводів живлення мікроконтролера розташовані керамічні конденсатори малої ємності, які виконують функцію локальної фільтрації високочастотних перешкод. Використання таких конденсаторів дозволяє підвищити стабільність роботи цифрової частини системи.

Для забезпечення правильного запуску мікроконтролера використовується схема RESET. До виводу RESET підключений підтягуючий резистор номіналом 10 кОм, який забезпечує формування логічної одиниці під час нормальної роботи системи. Крім того, у схемі передбачена кнопка ручового скидання, яка дозволяє перезавантажити систему під час налагодження або тестування.

У процесі розробки також враховувалась необхідність підключення периферійних модулів. Для обміну даними з INA219, DS3231 та OLED-дисплеєм використовується інтерфейс I2C. Лінії SDA та SCL підключаються до відповідних виводів мікроконтролера через підтягуючі резистори номіналом 4.7 кОм. Використання спільної I2C-шини дозволило значно спростити структуру системи та зменшити кількість сигнальних ліній.

Для UART-зв'язку використовуються виводи RXD та TXD мікроконтролера. Через даний інтерфейс виконується передача службової інформації та результатів вимірювання до Virtual Terminal у процесі моделювання системи.

Під час проєктування друкованої плати особлива увага приділялась розташуванню мікроконтролера та трасуванню сигнальних ліній. Мікроконтролер було розташовано у центральній частині плати для мінімізації

довжини з'єднань між вузлами системи. Це дозволяє зменшити вплив електромагнітних завад та покращити стабільність роботи інтерфейсів передачі даних.

У процесі моделювання системи у середовищі Proteus було підтверджено коректну роботу мікроконтролерного вузла. Мікроконтролер стабільно взаємодіє із периферійними пристроями, коректно виконує обробку даних та забезпечує передачу результатів через UART-інтерфейс.

Таким чином, вузол керування на базі ATmega328P забезпечує координацію роботи всієї системи моніторингу акумуляторних батарей та виконує основні функції обробки інформації. Використання даного мікроконтролера дозволило реалізувати компактну, функціональну та достатньо продуктивну систему із підтримкою сучасних цифрових інтерфейсів передачі даних.

2.3 Розробка вузла вимірювання струму та напруги

Одним із найважливіших вузлів системи моніторингу акумуляторних батарей є вузол вимірювання струму та напруги. Саме на основі цих параметрів виконується визначення потужності навантаження та обчислення фактичної ємності акумулятора під час процесу розряду. Точність роботи даного вузла безпосередньо впливає на коректність роботи всієї системи, тому під час його розробки особлива увага приділялась стабільності вимірювань та мінімізації похибок.

Для реалізації вимірювального вузла у даному проєкті використовується цифровий датчик INA219. Дана мікросхема призначена для вимірювання струму, напруги та потужності у колах постійного струму. INA219 містить вбудований аналого-цифровий перетворювач та забезпечує передачу результатів вимірювання у цифровому вигляді через інтерфейс I2C.

Використання цифрового датчика дозволило значно спростити структуру вимірювального вузла, оскільки відпала необхідність використання зовнішніх операційних підсилювачів та окремих схем аналого-цифрового перетворення

сигналів. Крім того, цифровий інтерфейс передачі даних забезпечує високу стійкість до шумів та спрощує інтеграцію модуля у загальну систему.

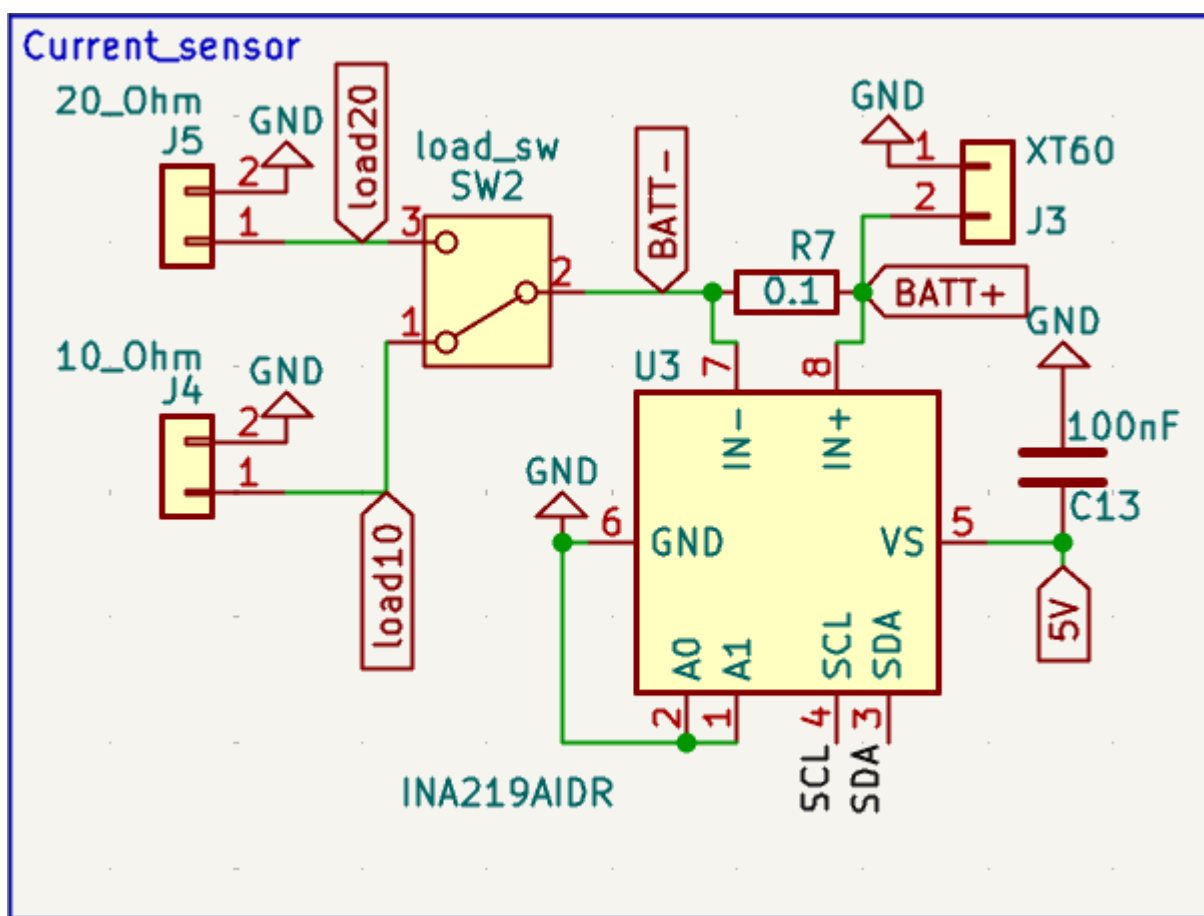


Рисунок 2.4 - Схема підключення датчика INA219 [16].

Принцип роботи вимірювального вузла базується на контролі падіння напруги на шунтовому резисторі малого опору. Під час проходження струму через шунт на ньому виникає різниця потенціалів, пропорційна величині струму. Датчик INA219 виконує вимірювання цієї напруги та обчислює значення струму відповідно до закону Ома.

Математично струм визначається за формулою:

$$I = \frac{U}{R} \quad (2.2)$$

де I - струм навантаження, U - падіння напруги на шунтовому резисторі, а R - опір шунта.

У системі використовується шунтовий резистор номіналом 0.1 Ом. Таке значення забезпечує достатню точність вимірювання при мінімальних втратах потужності у вимірювальному колі. Крім того, невеликий опір шунта дозволяє зменшити нагрів резистора та знизити вплив температурних змін на результати вимірювання.

Окрім вимірювання струму, INA219 також виконує контроль напруги акумуляторної батареї. Це дозволяє отримувати повну інформацію про стан джерела живлення та обчислювати потужність навантаження у режимі реального часу.

Потужність визначається за формулою:

$$P = U \cdot I \quad (2.3)$$

де P - потужність навантаження, U - напруга акумулятора, а I - струм розряду.

Отримані значення використовуються мікроконтролером для подальшого обчислення фактичної ємності акумулятора методом інтегрування струму.

Передача даних між INA219 та мікроконтролером ATmega328P здійснюється через інтерфейс I2C. Датчик підключений до спільної цифрової шини разом із модулем DS3231 та OLED-дисплеєм SSD1306. Використання спільного інтерфейсу дозволило значно зменшити кількість сигнальних ліній та спростити принципову схему системи.

Для забезпечення стабільної роботи I2C-шини використовуються підтягуючі резистори номіналом 4.7 кОм. Вони формують логічний рівень на сигнальних лініях SDA та SCL і забезпечують коректну передачу даних між пристроями.

Під час розробки вимірювального вузла особлива увага приділялась трасуванню силових та сигнальних ліній. Для мінімізації шумів та похибок шунтовий резистор було розташовано максимально близько до датчика INA219. Це дозволяє зменшити вплив паразитних опорів провідників та підвищити точність вимірювання струму.

Також у схемі використовуються фільтруючі конденсатори, які забезпечують стабільність живлення та зменшують рівень високочастотних перешкод. Використання локальної фільтрації особливо важливе при роботі цифрових датчиків та мікроконтролерних систем.

У процесі моделювання системи у середовищі Proteus було перевірено роботу вимірювального вузла при різних значеннях навантаження. Під час тестування система стабільно виконувала вимірювання струму та напруги, а результати коректно передавались до мікроконтролера через інтерфейс I2C.

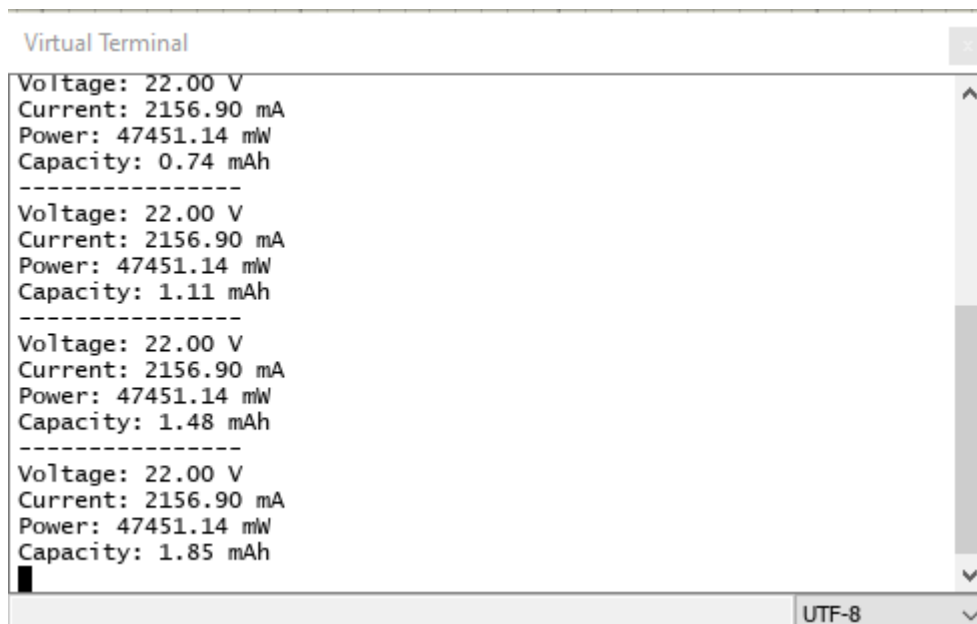


Рисунок 2.5 - Результати вимірювання струму та напруги у Proteus

У ході тестування також було підтверджено правильність обчислення потужності та накопичення ємності акумулятора. Значення струму змінювались відповідно до підключеного навантаження, а система коректно оновлювала результати вимірювання у реальному часі.

Використання INA219 дозволило реалізувати компактний та достатньо точний вузол вимірювання параметрів акумуляторної батареї без необхідності складної аналогової обробки сигналів. Цифровий інтерфейс передачі даних значно спростив інтеграцію модуля у систему та забезпечив стабільність роботи під час моделювання.

Таким чином, розроблений вузол вимірювання струму та напруги забезпечує отримання основних електричних параметрів акумуляторної батареї та створює основу для реалізації алгоритму визначення фактичної ємності у процесі її розряду.

2.4 Розробка системи живлення

Для забезпечення стабільної роботи всіх електронних вузлів системи необхідно реалізувати надійне джерело живлення, здатне забезпечувати мікроконтролер та периферійні модулі стабілізованою напругою. Якість роботи системи живлення безпосередньо впливає на точність вимірювань, стабільність цифрових інтерфейсів та загальну надійність роботи пристрою.

У розробленій системі джерелом енергії є акумуляторна батарея, напруга якої може змінюватися залежно від рівня заряду та режиму навантаження. Оскільки більшість електронних компонентів системи потребують стабільного живлення 5 В, виникає необхідність використання вузла перетворення напруги.

Для реалізації системи живлення у даному проєкті використовується імпульсний DC-DC перетворювач на базі мікросхеми TPS5430. Використання імпульсного стабілізатора дозволяє забезпечити високий коефіцієнт корисної дії та мінімізувати втрати потужності у процесі перетворення напруги. Це особливо важливо для систем, які працюють від акумуляторних джерел живлення.

На відміну від лінійних стабілізаторів, імпульсні перетворювачі працюють за принципом широтно-імпульсної модуляції. Енергія передається до навантаження короткими імпульсами, після чого виконується згладжування сигналу за допомогою індуктивності та фільтруючих конденсаторів. Такий підхід дозволяє значно підвищити ефективність перетворення та зменшити нагрів елементів системи.

Принцип роботи імпульсного стабілізатора базується на зміні коефіцієнта заповнення імпульсів PWM-сигналу. Середнє значення вихідної напруги визначається співвідношенням між тривалістю відкритого та закритого стану силового ключа.

Спрощено робота понижувального перетворювача описується співвідношенням:

$$U_{out} = D \cdot U_{in} \quad (2.4)$$

де U_{out} - вихідна напруга, U_{in} - вхідна напруга, а D - коефіцієнт заповнення PWM-сигналу.

Мікросхема TPS5430 містить вбудований силовий MOSFET-транзистор та забезпечує можливість роботи з достатньо великими струмами навантаження. Це дозволяє використовувати один стабілізатор для живлення всієї цифрової частини системи.

Під час розробки вузла живлення особлива увага приділялась правильному вибору елементів фільтрації. Для зменшення рівня пульсацій у схемі використовуються електролітичні та керамічні конденсатори. Керамічні конденсатори забезпечують фільтрацію високочастотних шумів, а електролітичні - згладжування низькочастотних пульсацій.

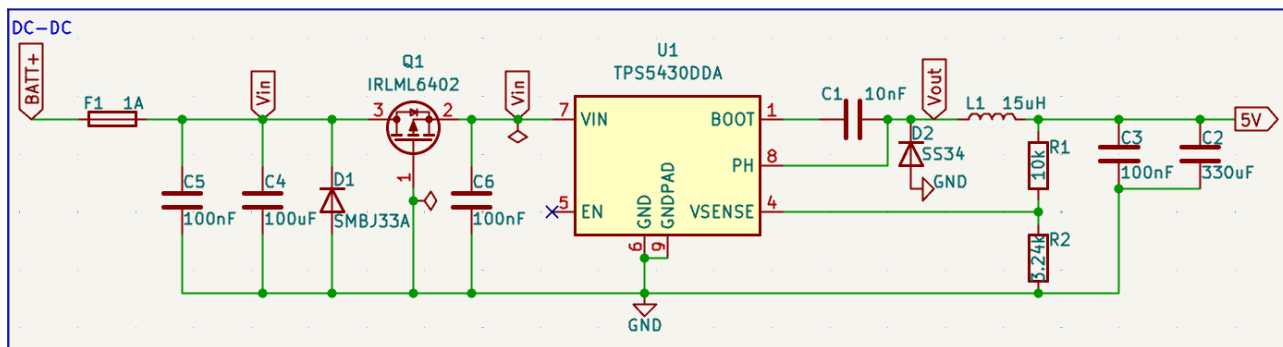


Рисунок 2.6 - Схема DC-DC перетворювача

Важливим елементом імпульсного стабілізатора є індуктивність. Саме вона накопичує енергію під час відкритого стану силового ключа та передає її до навантаження після його закриття. Правильний вибір індуктивності впливає на:

- рівень пульсацій;
- стабільність роботи;
- максимальний струм навантаження;
- коефіцієнт корисної дії.

У процесі проєктування також враховувалась необхідність захисту цифрової частини системи від електромагнітних завад. Імпульсні перетворювачі є джерелом високочастотних шумів, тому під час трасування друкованої плати важливо мінімізувати довжину силових контурів та правильно розташовувати фільтруючі компоненти.

Для підвищення стабільності роботи мікроконтролера та цифрових датчиків у схемі передбачена локальна фільтрація живлення. Біля кожного цифрового модуля встановлені керамічні конденсатори малої ємності, які зменшують вплив короткочасних імпульсних завад та стабілізують напругу живлення.

Під час моделювання у середовищі Proteus було перевірено стабільність роботи системи живлення при різних режимах навантаження.

У процесі тестування контролювались:

- стабільність вихідної напруги;
- рівень пульсацій;
- нагрів елементів;
- стабільність живлення цифрових вузлів.

Результати моделювання показали, що система живлення забезпечує стабільну напругу 5 В навіть при зміні струму навантаження. Мікроконтролер та периферійні модулі працювали стабільно без збоїв та помилок передачі даних.

Особливу увагу під час тестування приділяли роботі системи при зміні режимів навантаження. Підключення різних резистивних навантажень дозволило перевірити роботу DC-DC перетворювача при різних значеннях споживаного струму та підтвердити достатню стабільність системи живлення.

Таким чином, використання імпульсного DC-DC перетворювача TPS5430 дозволило реалізувати ефективну та стабільну систему живлення для мікроконтролерної системи моніторингу акумуляторних батарей. Розроблений вузол забезпечує стабільну роботу всіх компонентів системи, мінімізує втрати потужності та створює необхідні умови для коректної роботи вимірювальних і цифрових модулів.

2.5 Розробка модуля реального часу

Для забезпечення точного визначення ємності акумуляторної батареї необхідно виконувати коректний підрахунок часу під час процесу розряду. Навіть незначна похибка вимірювання часових інтервалів може призвести до накопичення помилок у процесі інтегрування струму та, відповідно, до неточного визначення фактичної ємності акумулятора. Саме тому у розробленій системі використовується окремий модуль реального часу.

У даному проєкті для реалізації функції підрахунку часу використовується модуль DS3231. Даний модуль є високоточним RTC-пристроєм, який забезпечує стабільний відлік часу та має вбудовану температурну компенсацію кварцового

генератора. Завдяки цьому DS3231 характеризується низькою похибкою навіть при зміні температури навколишнього середовища.

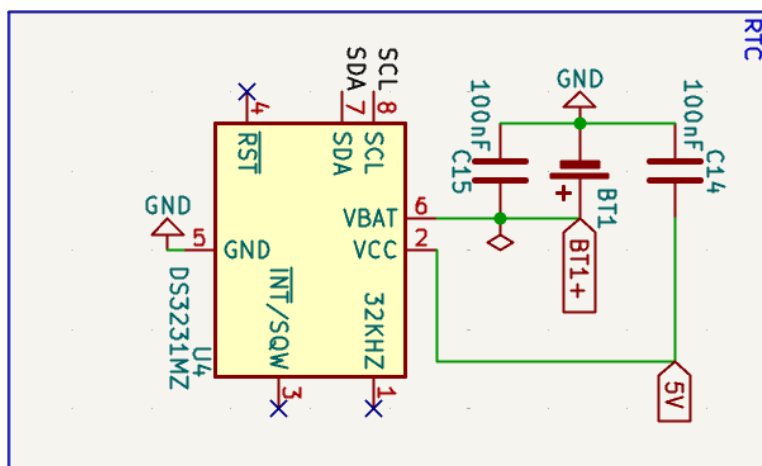


Рисунок 2.7 - Модуль реального часу DS3231 [17].

Основною задачею RTC-модуля у системі є формування точних часових інтервалів, необхідних для реалізації алгоритму інтегрування струму. Мікроконтролер періодично отримує часові дані від DS3231 та використовує їх для визначення тривалості процесу розряду акумулятора.

Використання окремого RTC-модуля має суттєві переваги порівняно із використанням внутрішніх таймерів мікроконтролера. Таймери ATmega328P залежать від стабільності тактового генератора та можуть накопичувати похибку під час тривалої роботи системи. Крім того, внутрішні таймери використовуються для виконання інших функцій мікроконтролера, що може впливати на точність підрахунку часу.

DS3231 містить вбудований кварцовий генератор та систему температурної компенсації, яка автоматично коригує частоту генератора залежно від температури. Це дозволяє значно зменшити похибку відліку часу та забезпечити стабільну роботу системи навіть при тривалому тестуванні акумуляторної батареї.

Передача даних між DS3231 та мікроконтролером здійснюється через інтерфейс I2C. Модуль підключений до спільної цифрової шини разом із

датчиком INA219 та OLED-дисплеєм SSD1306. Такий підхід дозволяє мінімізувати кількість сигнальних ліній та спростити структуру системи.

Під час роботи системи мікроконтролер періодично зчитує поточні значення часу та визначає інтервал між вимірюваннями струму. Саме ці дані використовуються для реалізації методу інтегрування струму та визначення накопиченої ємності акумулятора.

Ємність акумулятора визначається відповідно до співвідношення:

$$Q = \sum I_n \Delta t \quad (2.5)$$

де I_n - значення струму у певний момент часу, а Δt - часовий інтервал між вимірюваннями.

Таким чином, точність визначення ємності безпосередньо залежить від точності вимірювання часу. Використання RTC-модуля дозволяє мінімізувати похибку підрахунку та підвищити достовірність результатів.

Ще однією важливою особливістю DS3231 є наявність резервного живлення від батареї CR2032. Навіть при вимкненні основного живлення модуль продовжує відлік часу, що дозволяє зберігати коректні часові дані між сеансами роботи системи.

Під час розробки принципової схеми особлива увага приділялась правильному підключенню ліній I2C та живлення модуля. Для стабільної роботи цифрової шини використовуються підтягуючі резистори, а біля виводів живлення встановлені фільтруючі конденсатори для зменшення впливу високочастотних перешкод.

У процесі моделювання системи у середовищі Proteus було перевірено коректність роботи RTC-модуля та стабільність передачі даних через інтерфейс I2C. Мікроконтролер успішно зчитував часові дані та використовував їх для реалізації алгоритму визначення ємності акумулятора.

Під час тестування також перевірялась стабільність роботи системи при тривалому моделюванні процесу розряду. Отримані результати підтвердили відсутність помітного накопичення похибки та стабільну роботу модуля реального часу.

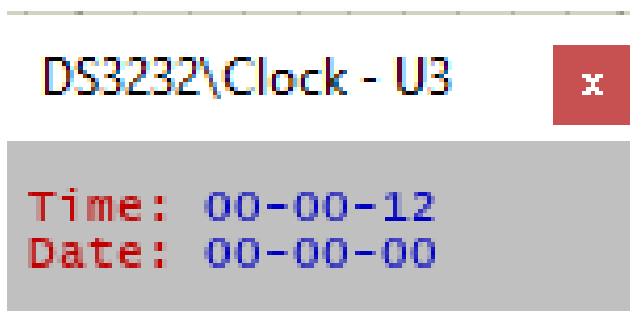


Рисунок 2.8 - Результати роботи RTC-модуля у Proteus

Використання DS3231 дозволило значно підвищити точність системи моніторингу акумуляторних батарей та забезпечити коректну роботу алгоритму інтегрування струму. Крім того, наявність цифрового інтерфейсу I2C значно спростила інтеграцію модуля у загальну структуру системи.

Таким чином, модуль реального часу DS3231 є важливим елементом системи моніторингу акумуляторних батарей, оскільки забезпечує точний підрахунок часових інтервалів та підвищує достовірність визначення фактичної ємності акумулятора у процесі його розряду.

2.6 Розробка принципової схеми пристрою

Після завершення розробки окремих функціональних вузлів системи було виконано створення повної принципової електричної схеми пристрою. Принципова схема є основою апаратної реалізації системи та визначає електричні з'єднання між усіма компонентами, режим їх роботи та взаємодію між окремими вузлами.

Розробка принципової схеми виконувалась у середовищі автоматизованого проєктування KiCad [18]. Використання даного програмного забезпечення

дозволило створити структуровану схему пристрою, виконати перевірку електричних з'єднань та підготувати основу для подальшого проектування друкованої плати.

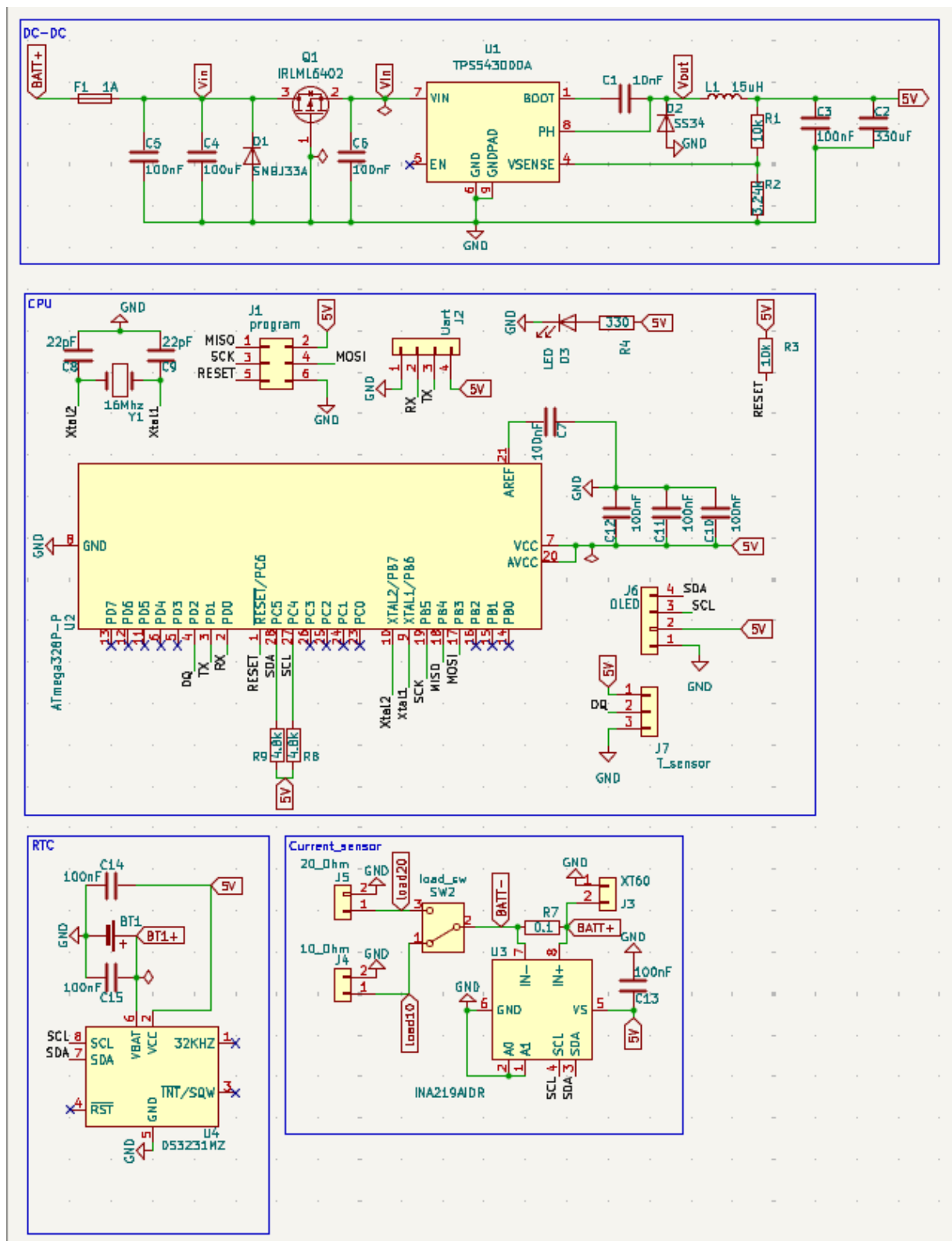


Рисунок 2.9 - Загальна принципова схема системи

Основою схеми є мікроконтролер ATmega328P, який виконує функції центрального керуючого вузла системи. До мікроконтролера підключені периферійні модулі, зокрема датчик струму INA219, модуль реального часу DS3231, а також реалізована можливість підключення додаткових периферійних модулів температурних сенсорів по типу DS18B20 та OLED дисплеїв по типу SSD1306.

Під час розробки принципової схеми особлива увага приділялась правильному підключенню цифрових інтерфейсів. Для взаємодії між мікроконтролером та більшістю периферійних модулів використовується інтерфейс I2C. Через спільну цифрову шину працюють:

- INA219;
- DS3231;
- Додаткові периферійні модулі.

Використання єдиної I2C-шини дозволило значно спростити схему пристрою та зменшити кількість сигнальних ліній між компонентами.

Для забезпечення стабільної роботи інтерфейсу I2C у схемі використовуються підтягуючі резистори номіналом 4.7 кОм. Вони формують необхідний логічний рівень на сигнальних лініях SDA та SCL та забезпечують коректну передачу даних між пристроями.

У принциповій схемі також реалізований вузол вимірювання струму та напруги на базі INA219. Датчик підключений послідовно із шунтовим резистором, через який проходить струм навантаження. Вимірювання падіння напруги на шунті дозволяє визначати струм акумуляторної батареї у процесі розряду.

Отримані результати використовуються для обчислення фактичної ємності акумулятора методом інтегрування струму:

$$Q = \sum I_n \Delta t \quad (2.6)$$

де I_n - значення струму у певний момент часу, а Δt - часовий інтервал між вимірюваннями.

Для точного визначення часових інтервалів у схемі використовується модуль реального часу DS3231. Підключення RTC-модуля через I2C дозволяє отримувати часові дані без використання додаткових сигнальних ліній.

Для передачі службової інформації та результатів вимірювання у схемі передбачений UART-інтерфейс. Виводи TX та RX мікроконтролера підключені до Virtual Terminal середовища Proteus, що дозволяє виконувати налагодження системи та аналіз результатів роботи у процесі моделювання.

Окрему увагу під час розробки принципової схеми було приділено системі живлення. Для формування стабілізованої напруги 5 В використовується імпульсний DC-DC перетворювач TPS5430. У схемі передбачені:

- фільтруючі конденсатори;
- дросель;
- діод Шотткі;
- захисні елементи.

Використання імпульсного стабілізатора дозволяє забезпечити високий коефіцієнт корисної дії та мінімізувати втрати потужності.

Для забезпечення стабільної роботи мікроконтролера у схемі реалізована система RESET та зовнішній кварцовий генератор на 16 МГц. Застосування зовнішнього кварцового резонатора дозволяє підвищити стабільність роботи цифрових інтерфейсів та забезпечити точний обмін даними між модулями системи.

Під час створення принципової схеми також враховувались вимоги до подальшого проєктування друкованої плати. Компоненти були організовані у вигляді окремих функціональних блоків, що спрощує трасування РСВ та дозволяє мінімізувати вплив електромагнітних завад.

У процесі моделювання принципової схеми у середовищі Proteus було перевірено:

- правильність електричних з'єднань;
- стабільність роботи I2C;
- коректність UART-зв'язку;
- роботу системи живлення;
- взаємодію між усіма вузлами системи.

Результати тестування підтвердили працездатність розробленої схеми та правильність підключення всіх компонентів системи.

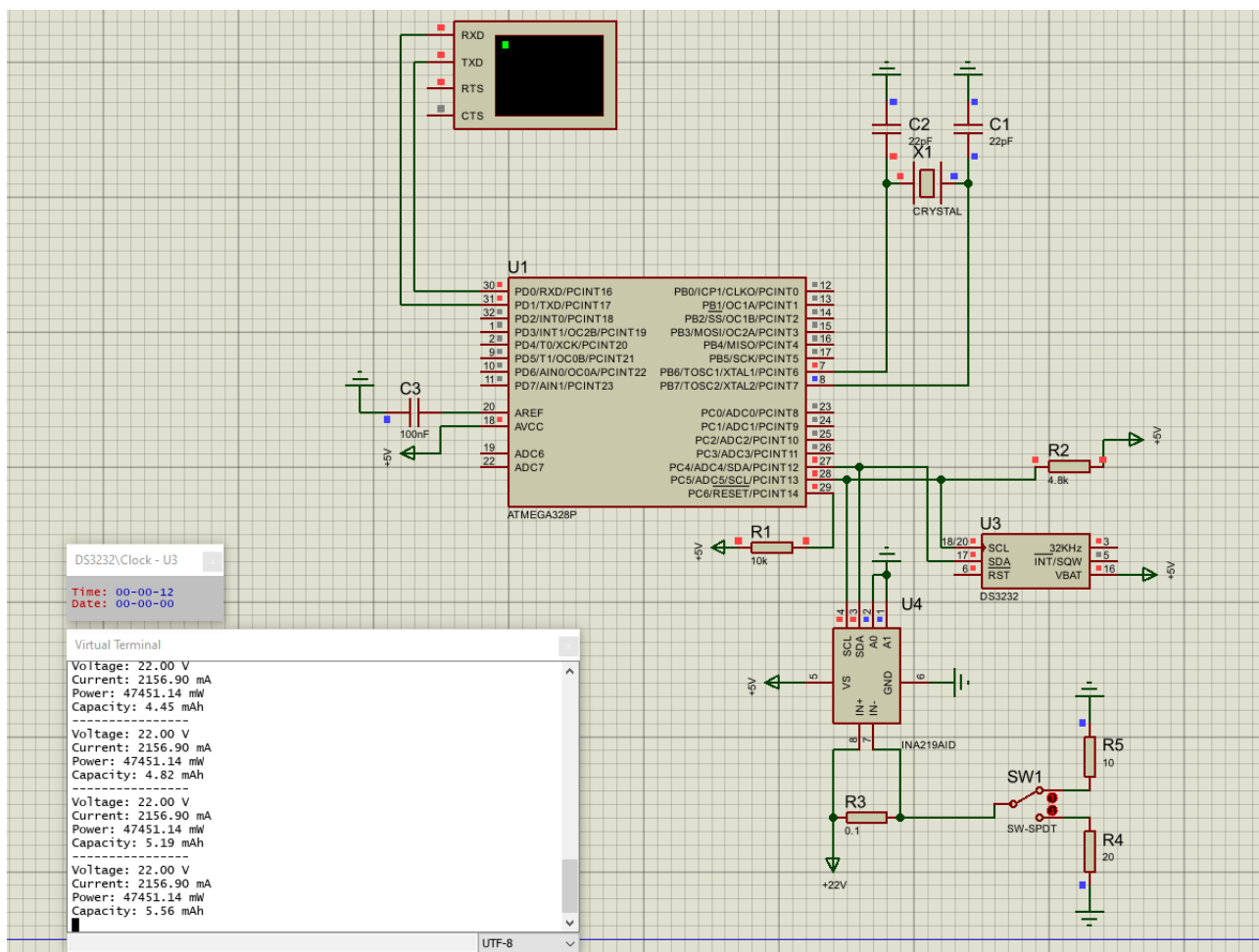


Рисунок 2.10 - Результати моделювання принципової схеми

Таким чином, у даному підрозділі було виконано розробку принципової електричної схеми системи моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей. Створена схема забезпечує взаємодію всіх функціональних вузлів системи, стабільну роботу цифрових інтерфейсів та створює основу для подальшого проектування друкованої плати пристрою.

Висновки до розділу 2

У другому розділі дипломної роботи було виконано розробку апаратної частини системи моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей. У процесі роботи сформовано загальну структуру пристрою, розроблено функціональні вузли системи та створено повну принципову електричну схему.

На початковому етапі була розроблена структурна схема системи, яка визначає взаємодію між основними компонентами пристрою. У якості центрального керуючого вузла використано мікроконтролер ATmega328P, який забезпечує обробку даних, взаємодію з периферійними модулями та реалізацію алгоритму визначення ємності акумулятора методом інтегрування струму.

У процесі розробки апаратної частини було створено вузол вимірювання струму та напруги на базі цифрового датчика INA219. Використання даного модуля дозволило реалізувати достатньо точне вимірювання електричних параметрів акумулятора та спростити інтеграцію вимірювального вузла у загальну структуру системи завдяки використанню цифрового інтерфейсу I2C.

Також було розроблено систему живлення пристрою на базі імпульсного DC-DC перетворювача TPS5430. Використання імпульсного стабілізатора дозволило забезпечити стабільне живлення всіх компонентів системи при високому коефіцієнті корисної дії та мінімальних втратах потужності.

Для забезпечення точного підрахунку часу у системі використовується модуль реального часу DS3231. Наявність RTC-модуля дозволяє мінімізувати похибку вимірювання часових інтервалів та підвищити точність визначення фактичної ємності акумуляторної батареї.

Також передбачено можливе використання додаткових периферійних модулів таких як сенсора температури та OLED дисплею.

Після розробки окремих функціональних вузлів була створена повна принципова електрична схема системи у середовищі KiCad. У процесі розробки схеми особлива увага приділялась стабільності роботи цифрових інтерфейсів, правильному підключенню вузлів живлення та мінімізації впливу електромагнітних завад.

У результаті виконаної роботи було сформовано повну апаратну основу системи моніторингу акумуляторних батарей, яка забезпечує:

- вимірювання струму та напруги;
- точний підрахунок часу;
- відображення результатів у реальному часі;
- передачу даних через UART-інтерфейс.

Отримані результати створюють основу для подальшої розробки програмного забезпечення та реалізації алгоритму визначення фактичної ємності акумуляторної батареї, що буде розглянуто у наступному розділі дипломної роботи.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ СИСТЕМИ

3.1 Загальний алгоритм роботи системи

Після завершення розробки апаратної частини системи наступним етапом дипломної роботи стала реалізація програмного забезпечення мікроконтролера. Саме програмна частина забезпечує взаємодію між усіма вузлами системи, обробку вимірних параметрів та виконання алгоритму визначення фактичної ємності акумуляторної батареї.

Програмне забезпечення розроблене для мікроконтролера ATmega328P із використанням середовища Arduino IDE [19]. Вибір даного середовища обумовлений простотою програмування, великою кількістю готових бібліотек та зручністю налагодження мікроконтролерних систем. Використання Arduino IDE дозволило значно прискорити процес розробки та забезпечити стабільну взаємодію з периферійними модулями.

Основою роботи системи є циклічний алгоритм опитування датчиків та обробки отриманих даних. Після подачі живлення мікроконтролер виконує ініціалізацію всіх периферійних пристроїв, налаштовує цифрові інтерфейси та запускає основний цикл роботи програми.

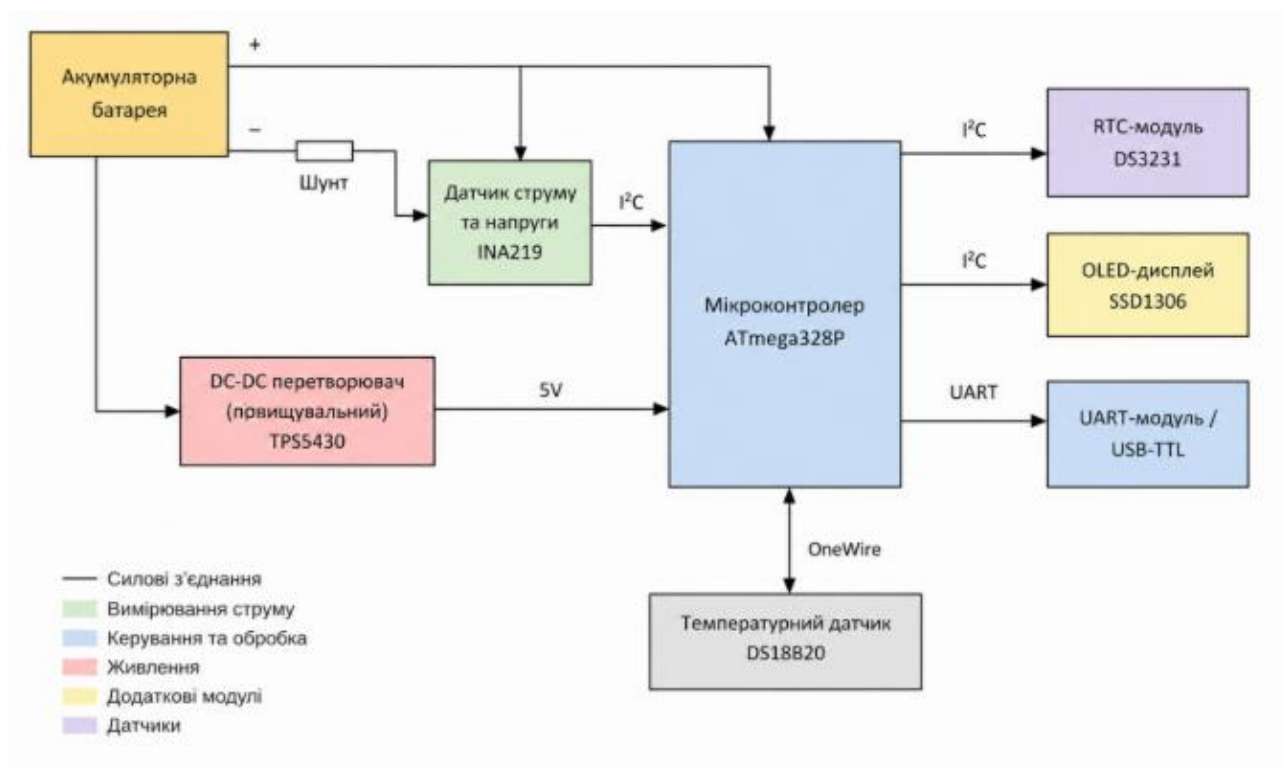


Рисунок 3.1 - Загальний алгоритм роботи системи

На початковому етапі програма виконує ініціалізацію:

- I²C-шини;
- UART-інтерфейсу;
- OLED-дисплея;
- датчика INA219;
- модуля DS3231;
- температурного датчика DS18B20.

Після завершення ініціалізації система переходить у основний цикл роботи. У циклічному режимі виконується зчитування значень струму, напруги та температури, а також отримання часових даних від RTC-модуля. Отримані параметри використовуються для обчислення потужності та накопиченої ємності акумуляторної батареї.

Програма працює за принципом періодичного оновлення даних. Через певний інтервал часу мікроконтролер виконує новий цикл вимірювання та оновлює результати на дисплеї і через UART-інтерфейс. Такий підхід забезпечує

стабільну роботу системи та дозволяє уникнути перевантаження мікроконтролера.

Для визначення ємності використовується метод інтегрування струму. Мікроконтролер отримує значення струму від INA219 та множить його на часовий інтервал між вимірюваннями. Отриманий результат накопичується у змінній ємності.

Математично процес визначення ємності описується виразом:

$$Q = \sum I_n \Delta t \quad (3.1)$$

де I_n - виміряне значення струму, а Δt - часовий інтервал між вимірюваннями.

Під час роботи система також виконує контроль температури акумуляторної батареї. Значення температури використовуються для відображення інформації користувачу.

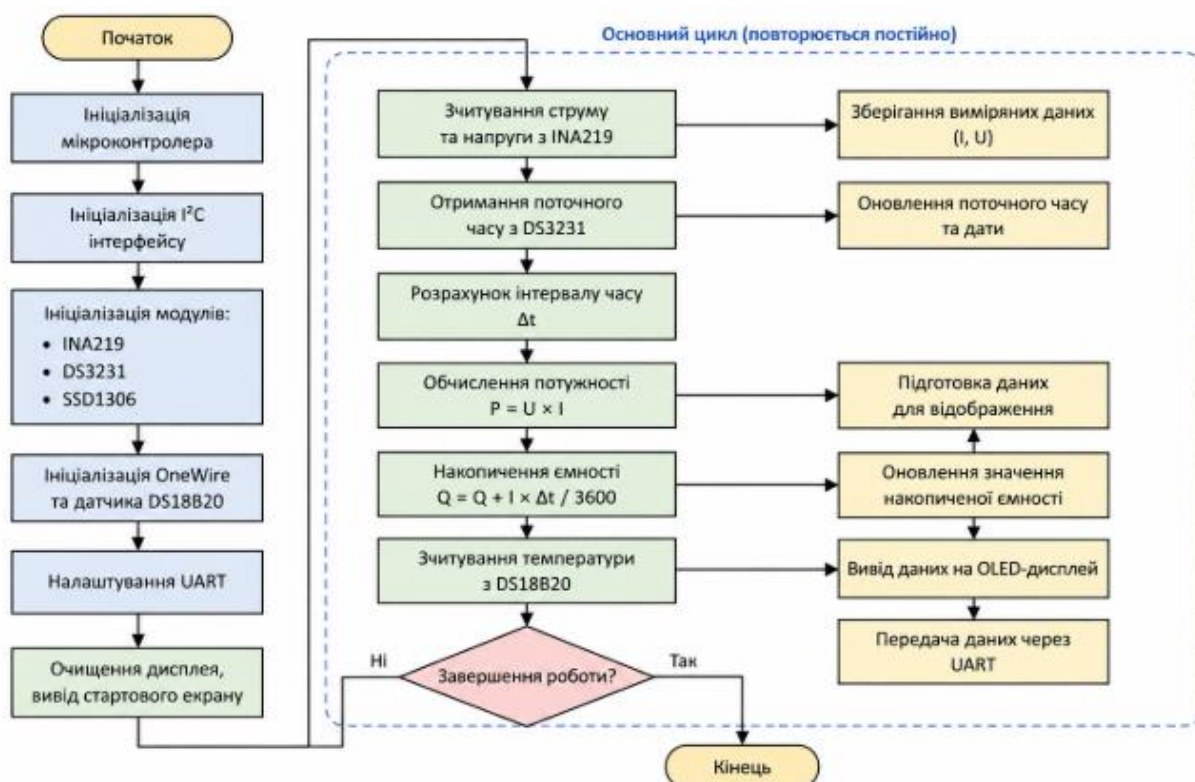


Рисунок 3.2 - Послідовність виконання основного циклу програми

Для передачі даних між модулями використовуються декілька цифрових інтерфейсів. Через I2C здійснюється обмін даними з INA219, DS3231 та OLED-дисплеєм, а через OneWire - взаємодія з температурним датчиком DS18B20 [20]. UART-інтерфейс використовується для налагодження системи та передачі результатів вимірювання до Virtual Terminal у середовищі Proteus.

Під час розробки програмного забезпечення особлива увага приділялась стабільності роботи системи. Для цього у програмі реалізовано перевірку коректності отриманих даних та контроль стану периферійних модулів. У випадку помилки зчитування система виконує повторний запит даних без перезапуску мікроконтролера.

Важливим етапом програмної реалізації стало створення функцій обробки вимірювальних даних. Отримані від датчиків значення перетворюються у фізичні величини та форматуються для відображення на дисплеї. Для підвищення стабільності відображення використовується усереднення результатів вимірювання.

У процесі роботи система також виконує обчислення потужності навантаження:

$$P = U \cdot I \quad (3.2)$$

де U - напруга акумулятора, а I - струм навантаження.

У процесі моделювання системи у середовищі Proteus було перевірено правильність роботи програмного алгоритму та стабільність взаємодії між усіма модулями системи. Отримані результати підтвердили коректність обробки вимірювальних даних та правильність реалізації алгоритму визначення ємності акумулятора.

Таким чином, розроблене програмне забезпечення забезпечує стабільну взаємодію між усіма вузлами системи, реалізує алгоритм визначення фактичної ємності акумуляторної батареї та дозволяє виконувати моніторинг параметрів акумулятора у режимі реального часу.

3.2 Алгоритм визначення ємності акумулятора

Основною функцією розробленої системи є визначення фактичної ємності акумуляторної батареї у процесі її розряду. Для реалізації цієї задачі у програмному забезпеченні використовується метод інтегрування струму, який дозволяє визначати кількість електричного заряду, переданого навантаженню протягом певного проміжку часу.

Даний метод є одним із найбільш точних способів оцінки фактичної ємності акумулятора у мікроконтролерних системах. Його принцип роботи базується на безперервному вимірюванні струму розряду та накопиченні результату протягом усього часу роботи акумуляторної батареї.

У процесі роботи система циклічно отримує значення струму від датчика INA219 та часові дані від модуля DS3231. Після цього мікроконтролер обчислює кількість електричного заряду, який був переданий навантаженню за певний часовий інтервал.

Математично ємність визначається за формулою:

$$Q = \int I(t)dt \quad (3.3)$$

У мікроконтролерній системі інтегрування реалізується у дискретному вигляді. Через певні інтервали часу програма виконує вимірювання струму та додає результат до загального значення накопиченої ємності.

Дискретний варіант формули має вигляд:

$$Q = \sum I_n \Delta t \quad (3.4)$$

де I_n - значення струму у момент вимірювання, а Δt - часовий інтервал між двома вимірюваннями.

Після запуску системи програма виконує ініціалізацію всіх модулів та встановлює початкове значення накопиченої ємності рівним нулю. Далі запускається основний цикл вимірювання, у якому система періодично отримує значення струму та часу.

На кожному циклі програма виконує:

- зчитування струму;
- визначення інтервалу часу;
- обчислення переданого заряду;
- накопичення результату;
- оновлення інформації на дисплеї.

Отримане значення ємності поступово збільшується протягом усього процесу розряду акумулятора.

Особлива увага під час реалізації алгоритму приділялась точності часових інтервалів. Навіть невелика похибка у вимірюванні часу може накопичуватись протягом тривалого процесу розряду та призводити до помилки визначення ємності. Саме тому у системі використовується модуль реального часу DS3231 із температурною компенсацією генератора.

Для підвищення стабільності роботи системи у програмі реалізовано фільтрацію результатів вимірювання. Струм навантаження може змінюватися через шум або нестабільність навантаження, тому використовується усереднення декількох послідовних вимірювань. Такий підхід дозволяє зменшити вплив випадкових коливань та підвищити точність визначення ємності.

У процесі роботи система також виконує контроль напруги акумулятора. Після досягнення мінімально допустимого значення напруги тестування завершується, а отримане значення накопиченої ємності вважається фактичною ємністю акумуляторної батареї.

Такий підхід дозволяє виконувати тестування акумулятора у режимі контрольного розряду та отримувати достовірні результати незалежно від початкового стану батареї.

Важливою особливістю алгоритму є можливість роботи у реальному часі. Система безперервно оновлює значення ємності та відображає результати користувачу на UART-інтерфейс. Крім того, результати вимірювання можуть передаватися на OLED-дисплей для подальшого аналізу.

Під час програмної реалізації використовувались змінні типу float, що дозволило виконувати обчислення з дробовими значеннями та підвищити точність визначення ємності. Усі результати обчислень зберігаються у пам'яті мікроконтролера та оновлюються у процесі роботи системи.

У процесі моделювання системи у середовищі Proteus було перевірено коректність роботи алгоритму інтегрування струму. Під час тестування система стабільно виконувала накопичення ємності при різних значеннях навантаження та коректно оновлювала результати через UART.

Результати тестування підтвердили правильність реалізації програмного алгоритму та достатню точність визначення ємності акумуляторної батареї. При зміні струму навантаження система коректно виконувала перерахунок ємності та відображала актуальні результати у реальному часі.

Таким чином, реалізований алгоритм визначення ємності акумулятора забезпечує достатню точність роботи системи та дозволяє визначати фактичну ємність акумуляторної батареї методом інтегрування струму у процесі її контрольного розряду.

3.3 Організація обміну даними по інтерфейсу I2C

Для забезпечення взаємодії між мікроконтролером та периферійними модулями у розробленій системі використовується цифровий інтерфейс I2C. Даний інтерфейс є одним із найбільш поширених способів обміну даними у мікроконтролерних системах та широко застосовується для підключення датчиків, дисплеїв та модулів реального часу.

Основною перевагою I2C є можливість підключення декількох пристроїв до однієї спільної шини за допомогою лише двох сигнальних ліній [21]. Це дозволяє

значно спростити структуру системи, зменшити кількість з'єднань та полегшити трасування друкованої плати.

У розробленій системі через інтерфейс I2C підключені:

- датчик струму та напруги INA219;
- модуль реального часу DS3231;
- можливий OLED-дисплей SSD1306.

Усі перелічені модулі працюють на спільній цифровій шині та взаємодіють із мікроконтролером ATmega328P.

Інтерфейс I2C використовує дві сигнальні лінії:

- SDA - лінія передачі даних;
- SCL - лінія тактової синхронізації.

Передача інформації виконується у синхронному режимі, де мікроконтролер формує тактові імпульси на лінії SCL та керує процесом обміну даними. У даній системі ATmega328P працює у режимі Master-пристрою, а всі периферійні модулі - у режимі Slave.

Кожен пристрій на I2C-шині має власну адресу, що дозволяє мікроконтролеру звертатись до конкретного модуля без конфліктів між пристроями. Перед початком передачі даних мікроконтролер надсилає адресу необхідного модуля, після чого виконується обмін інформацією.

Під час розробки системи особлива увага приділялась правильному підключенню ліній SDA та SCL. Для стабільної роботи I2C-шини використовуються підтягуючі резистори номіналом 4.7 кОм. Вони забезпечують формування логічного рівня на сигнальних лініях та дозволяють уникнути помилок передачі даних.

Програмна реалізація обміну даними здійснюється за допомогою бібліотеки Wire, яка входить до складу Arduino IDE [22]. Використання готової бібліотеки дозволило значно спростити реалізацію обміну даними та забезпечити стабільну роботу цифрової шини.

Після ініціалізації I2C-інтерфейсу мікроконтролер циклічно виконує звернення до периферійних модулів. Зчитування даних виконується у певній послідовності:

- отримання даних від INA219 [23];
- зчитування часу з DS3231 [24];
- оновлення інформації на можливому OLED-дисплеї.

Такий підхід дозволяє організувати стабільний обмін даними без конфліктів між пристроями.

У процесі роботи системи мікроконтролер періодично надсилає команди керування та отримує результати вимірювання. Наприклад, під час роботи з INA219 виконується зчитування регістрів струму та напруги, після чого отримані значення перетворюються у фізичні величини.

Для роботи з OLED-дисплеєм через I2C передаються графічні дані, які формують текстову інформацію на екрані. Передача даних виконується пакетами, що дозволяє мінімізувати навантаження на мікроконтролер та забезпечити стабільне оновлення дисплея.

Під час програмної реалізації особлива увага приділялась контролю помилок обміну даними. У деяких випадках можливі короточасні порушення передачі через електромагнітні завади або нестабільність живлення. Для підвищення надійності роботи у програмі реалізовано повторне зчитування даних у разі виникнення помилки.

Крім того, для забезпечення стабільності роботи I2C-шини під час проєктування друкованої плати враховувались вимоги до:

- мінімальної довжини сигнальних ліній;
- правильного розташування підтягуючих резисторів;
- зменшення впливу високочастотних завад.

Під час моделювання системи у середовищі Proteus було перевірено коректність роботи I2C-шини та взаємодію між усіма підключеними модулями. Результати тестування показали стабільну передачу даних без втрат інформації або помилок синхронізації.

Особливо важливим етапом тестування стала перевірка одночасної роботи декількох пристроїв на одній цифровій шині. У процесі моделювання система стабільно виконувала:

- зчитування даних від INA219;
- отримання часу від DS3231;

При цьому конфліктів адрес або помилок передачі даних не виникало.

Отримані результати підтвердили правильність організації цифрової шини та стабільність взаємодії між усіма периферійними модулями системи.

Таким чином, використання інтерфейсу I2C дозволило реалізувати компактну та ефективну систему обміну даними між мікроконтролером та периферійними пристроями. Застосування спільної цифрової шини значно спростило структуру пристрою, зменшило кількість сигнальних ліній та забезпечило стабільну роботу системи моніторингу акумуляторних батарей.

3.4 UART-моніторинг та налагодження системи

Під час розробки мікроконтролерних систем важливим етапом є організація засобів налагодження та контролю роботи програмного забезпечення. Для аналізу результатів вимірювання, перевірки правильності роботи алгоритмів та контролю взаємодії між окремими вузлами у розробленій системі використовується UART-інтерфейс.

UART є одним із найпоширеніших способів послідовної передачі даних у вбудованих системах. Основною перевагою даного інтерфейсу є простота реалізації, мінімальна кількість сигнальних ліній та можливість передачі текстової інформації у режимі реального часу.

У розробленій системі UART використовується для:

- виведення результатів вимірювання;
- контролю роботи алгоритму;
- налагодження програмного забезпечення;
- перевірки роботи периферійних модулів.

Передача даних здійснюється між мікроконтролером ATmega328P та Virtual Terminal середовища Proteus.

Для передачі інформації використовуються дві сигнальні лінії:

- TX - передача даних;
- RX - прийом даних.

У даній системі основний обмін інформацією виконується у напрямку від мікроконтролера до Virtual Terminal. Через UART передаються результати вимірювання струму, напруги, потужності, температури та накопиченої ємності акумулятора.

Під час роботи системи мікроконтролер формує текстові повідомлення та послідовно передає їх через UART-інтерфейс. У Virtual Terminal отримані дані відображаються у вигляді текстового журналу, що дозволяє контролювати процес роботи системи у реальному часі.

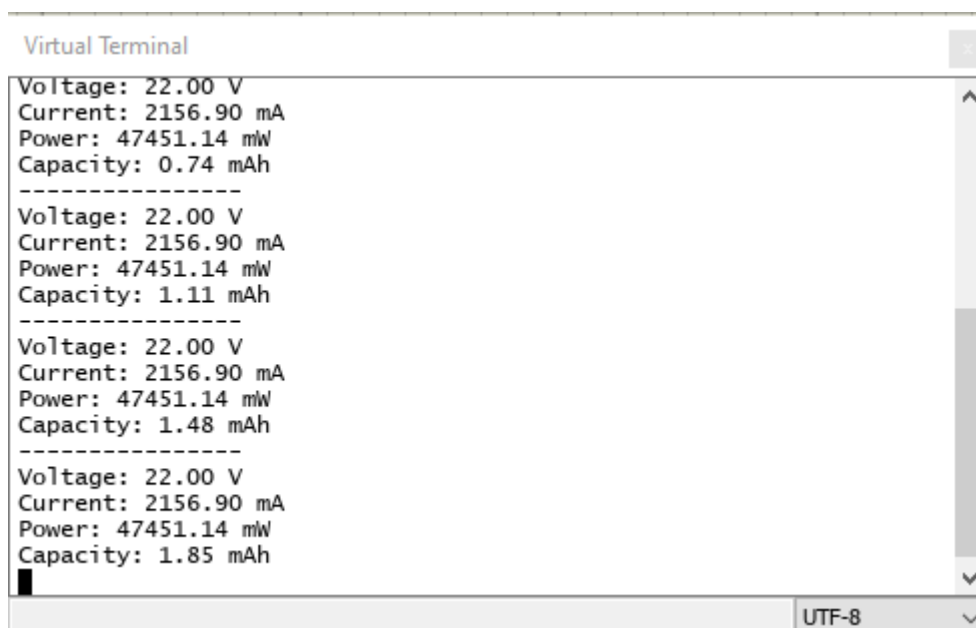


Рисунок 3.3 - Відображення даних у Virtual Terminal

Передача інформації виконується з використанням стандартної швидкості 9600 бод. Таке значення забезпечує стабільну передачу текстових повідомлень та є достатнім для роботи системи моніторингу акумуляторних батарей.

Для програмної реалізації UART-зв'язку використовуються вбудовані засоби Arduino IDE. Після ініціалізації послідовного порту мікроконтролер отримує можливість передавати текстові дані за допомогою функцій `Serial.print()` та `Serial.println()`.

У процесі роботи система циклічно формує повідомлення з поточними параметрами акумулятора. Передача інформації виконується через певні інтервали часу, що дозволяє уникнути перевантаження UART-каналу та забезпечити зручне сприйняття результатів користувачем.

Передані повідомлення містять:

- значення напруги;
- струм навантаження;
- потужність;
- накопичену ємність.

Отримані дані використовуються для аналізу роботи алгоритму визначення ємності та контролю стабільності функціонування системи.

Однією з важливих переваг UART-моніторингу є можливість контролю роботи програми без використання додаткових засобів відображення інформації. Навіть у випадку помилки роботи дисплея або інших модулів користувач може отримувати службову інформацію через послідовний інтерфейс.

Під час розробки програмного забезпечення UART активно використовувався для налагодження окремих вузлів системи. Через послідовний порт контролювались:

- результати зчитування даних із INA219;
- робота RTC-модуля;
- правильність інтегрування струму;
- стабільність циклу роботи програми.

Такий підхід дозволив швидко виявляти помилки програмної реалізації та перевіряти правильність взаємодії між модулями системи.

У процесі моделювання в середовищі Proteus UART-інтерфейс показав стабільну роботу без втрати даних або порушення синхронізації. Передача

інформації виконувалась коректно навіть при тривалій роботі системи та зміні режимів навантаження.

Особливу увагу під час тестування приділяли перевірці правильності передачі результатів обчислення ємності. Значення накопиченої ємності стабільно оновлювались у процесі розряду акумулятора та відповідали результатам, що відображались на OLED-дисплеї.

Під час проектування системи також враховувалась можливість подальшого розширення функціоналу UART-зв'язку. У майбутньому через послідовний інтерфейс може бути реалізовано:

- збереження результатів вимірювання;
- передача даних до персонального комп'ютера;
- побудова графіків розряду;
- дистанційний моніторинг роботи системи.

Таким чином, використання UART-інтерфейсу дозволило реалізувати ефективний засіб налагодження та моніторингу роботи системи. Передача результатів вимірювання через Virtual Terminal значно спростила процес тестування програмного забезпечення та підтвердила правильність роботи алгоритму визначення фактичної ємності акумуляторної батареї.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі дипломної роботи було виконано розробку програмного забезпечення системи моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей та реалізовано алгоритми обробки вимірювальних даних. Програмна частина системи забезпечує взаємодію між усіма функціональними вузлами пристрою, виконує обчислення основних параметрів акумулятора та реалізує алгоритм визначення фактичної ємності методом інтегрування струму.

На початковому етапі було розроблено загальний алгоритм роботи системи, який базується на циклічному опитуванні датчиків та обробці отриманих результатів у режимі реального часу. У процесі роботи мікроконтролер виконує

зчитування значень струму, напруги, та часових інтервалів, після чого виконується обчислення потужності та накопиченої ємності акумулятора.

Основною частиною програмного забезпечення стала реалізація алгоритму визначення ємності акумуляторної батареї методом інтегрування струму. Даний метод дозволяє визначати кількість електричного заряду, переданого навантаженню під час процесу розряду. У процесі програмної реалізації особлива увага приділялась точності вимірювання часу та стабільності обробки результатів вимірювання.

Для забезпечення взаємодії між мікроконтролером та периферійними модулями було реалізовано обмін даними через інтерфейс I2C. Через спільну цифрову шину виконувалась взаємодія з датчиком INA219, модулем DS3231 та можливим OLED-дисплеєм SSD1306. Використання I2C дозволило спростити структуру системи та забезпечити стабільну передачу даних між пристроями.

У процесі розробки також було реалізовано UART-моніторинг системи. Використання UART-інтерфейсу дозволило організувати передачу результатів вимірювання до Virtual Terminal середовища Proteus та значно спростило процес налагодження програмного забезпечення. Через UART виконувалась передача значень струму, напруги, потужності, температури та накопиченої ємності акумулятора.

У процесі програмної реалізації використовувались готові бібліотеки Arduino IDE, що дозволило значно спростити розробку програмного забезпечення та забезпечити стабільну роботу периферійних модулів. Для роботи з OLED-дисплеєм використовувались бібліотеки Adafruit SSD1306 та Adafruit GFX, для організації I2C-зв'язку - бібліотека Wire.

Під час моделювання у середовищі Proteus було перевірено:

- правильність роботи алгоритму інтегрування струму;
- стабільність UART-зв'язку;
- роботу I2C-шини;

Результати тестування підтвердили працездатність програмного забезпечення та правильність реалізації алгоритмів роботи системи. У процесі

моделювання система стабільно виконувала обчислення фактичної ємності акумулятора та коректно відображала результати у режимі реального часу.

Таким чином, у третьому розділі було створено повноцінне програмне забезпечення системи моніторингу акумуляторних батарей, яке забезпечує взаємодію всіх функціональних вузлів системи, реалізує алгоритм визначення ємності та дозволяє виконувати контроль параметрів акумулятора у режимі реального часу.

РОЗДІЛ 4

ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ

4.1 Розробка друкованої плати

Після завершення розробки принципової електричної схеми наступним етапом створення системи моніторингу акумуляторних батарей стало проєктування друкованої плати. Саме друкована плата забезпечує фізичне розміщення компонентів системи, електричне з'єднання між вузлами та впливає на стабільність роботи всього пристрою.

Розробка друкованої плати виконувалась у середовищі KiCad. Використання даної системи автоматизованого проєктування дозволило створити повноцінну РСВ-модель пристрою, виконати трасування електричних з'єднань та підготувати проєкт для подальшого виготовлення плати.

На початковому етапі проєктування було виконано перенесення компонентів із принципової схеми до редактора друкованих плат. Після цього здійснювалось розміщення елементів відповідно до їх функціонального призначення та особливостей взаємодії між окремими вузлами системи.

Під час розташування компонентів особлива увага приділялась мінімізації довжини сигнальних ліній та правильному розділенню цифрової і силової частини системи. Мікроконтролер ATmega328P був розташований у центральній частині плати, що дозволило зменшити довжину з'єднань між периферійними модулями та покращити стабільність роботи цифрових інтерфейсів.

Модулі INA219, DS3231 були розміщені поблизу мікроконтролера для мінімізації довжини ліній I2C-шини. Такий підхід дозволяє зменшити вплив електромагнітних завад та підвищити стабільність передачі даних.

Особлива увага під час проєктування приділялась вузлу вимірювання струму. Шунтовий резистор та датчик INA219 були розташовані максимально

близько один до одного для мінімізації паразитних опорів провідників та підвищення точності вимірювання струму.

Під час трасування друкованої плати враховувались вимоги до:

- ширини силових доріжок;
- мінімізації шумів;
- стабільності живлення;
- правильного розташування фільтруючих конденсаторів.

Для силових ліній використовувались доріжки збільшеної ширини, що дозволяє зменшити падіння напруги та нагрів провідників при проходженні струму навантаження.

Лінії цифрових інтерфейсів трасувались окремо від силової частини системи. Це дозволяє мінімізувати вплив імпульсних перешкод від DC-DC перетворювача на роботу I2C та UART-інтерфейсів.

Особлива увага приділялась трасуванню системи живлення. Імпульсний DC-DC перетворювач є джерелом високочастотних завад, тому під час проєктування було мінімізовано довжину силових контурів та забезпечено компактне розташування елементів перетворювача.

Для забезпечення стабільної роботи цифрової частини системи біля кожного модуля були встановлені фільтруючі конденсатори. Вони забезпечують локальну стабілізацію живлення та зменшують вплив короткочасних імпульсних завад.

Під час проєктування також враховувались вимоги до зручності монтажу компонентів та можливості подальшого обслуговування пристрою. Роз'єми живлення та сигнальні контакти були розташовані по краях плати, що спрощує підключення зовнішніх модулів та навантаження.

Після завершення трасування було виконано перевірку друкованої плати за допомогою вбудованих засобів KiCad. Перевірка дозволила виявити помилки з'єднань, порушення технологічних відстаней та конфлікти між доріжками.

Після успішного завершення перевірки та виправлення помилок було сформовано фінальний вигляд друкованої плати. Плата має компактні розміри та

містить усі необхідні функціональні вузли системи моніторингу акумуляторних батарей.

У процесі проєктування також була створена 3D-модель друкованої плати, яка дозволяє оцінити розташування компонентів та загальний вигляд пристрою. Використання тривимірного перегляду значно спрощує перевірку правильності встановлення елементів та дозволяє виявити можливі механічні конфлікти. Тривимірне зображення друкованої плати наведено у додатку В.

Під час розробки друкованої плати особлива увага приділялась забезпеченню електромагнітної сумісності та стабільності роботи системи. Для цього використовувались:

- короткі сигнальні лінії;
- локальна фільтрація живлення;
- правильне розділення силових та цифрових кіл;
- оптимальне розташування компонентів.

У результаті була створена компактна та функціональна друкована плата, яка забезпечує стабільну роботу всіх вузлів системи моніторингу акумуляторних батарей.

Таким чином, у даному підрозділі було виконано проєктування друкованої плати системи моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей. Створена РСВ забезпечує правильне електричне з'єднання між усіма компонентами системи та створює основу для подальшого моделювання та тестування пристрою.

4.2 Моделювання системи у середовищі Proteus

Після завершення розробки принципової схеми та друкованої плати наступним етапом дипломної роботи стало моделювання системи у середовищі Proteus [25]. Використання програмного моделювання дозволяє перевірити правильність роботи електронної схеми, проаналізувати взаємодію між

окремими вузлами системи та виявити можливі помилки ще до виготовлення реального пристрою.

Proteus є одним із найбільш поширених середовищ моделювання електронних схем та мікроконтролерних систем. Основною перевагою даного програмного забезпечення є можливість одночасного моделювання як електронної частини системи, так і роботи програмного забезпечення мікроконтролера.

У процесі моделювання до схеми було підключено:

- мікроконтролер ATmega328P;
- датчик INA219;
- модуль DS3231;
- Virtual Terminal для UART-моніторингу.

Після цього до мікроконтролера було завантажено програмний код системи, розроблений у середовищі Arduino IDE.

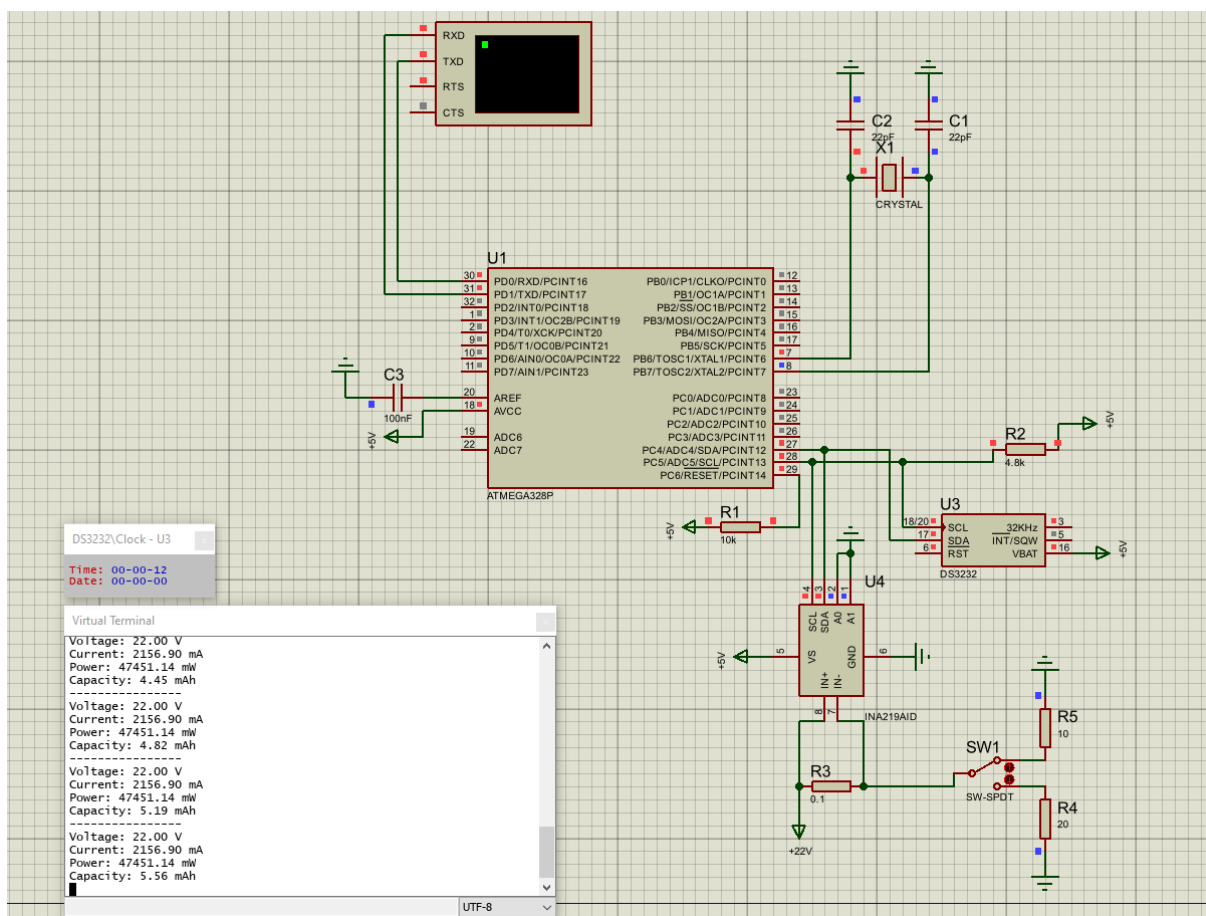


Рисунок 4.2 - Загальний вигляд моделі системи у Proteus

Основною задачею моделювання була перевірка працездатності всіх функціональних вузлів системи та правильності реалізації програмного алгоритму визначення ємності акумулятора. Особлива увага приділялась стабільності взаємодії між модулями через інтерфейси I2C, UART та OneWire.

Після запуску моделювання система виконувала ініціалізацію всіх периферійних модулів та переходила до основного циклу роботи. У процесі роботи мікроконтролер циклічно зчитував дані з INA219, отримував часові інтервали від DS3231

Отримані результати використовувались для обчислення:

- струму навантаження;
- напруги акумулятора;
- потужності;
- накопиченої ємності;

Після обробки інформація передавалась через UART до Virtual Terminal.

Під час тестування особлива увага приділялась перевірці роботи алгоритму інтегрування струму. Для цього у схемі використовувались різні значення навантаження, що дозволило перевірити коректність обчислення накопиченої ємності акумулятора.

У процесі моделювання система стабільно виконувала накопичення ємності відповідно до зміни струму навантаження. Значення ємності поступово збільшувалось у процесі розряду та відповідало заданим параметрам роботи системи.

Окрему увагу приділяли перевірці стабільності роботи цифрових інтерфейсів. Під час моделювання система одночасно виконувала:

- зчитування даних через I2C;
- передачу інформації через UART;
- обмін даними через OneWire;

При цьому порушень передачі даних або конфліктів між модулями не спостерігалось.

Під час тестування UART-моніторингу результати вимірювання коректно передавались до Virtual Terminal. У терміналі відображались значення струму, напруги, потужності, температури та накопиченої ємності акумулятора.

Для перевірки стабільності системи живлення моделювались різні режими навантаження. У процесі тестування контролювались:

- відсутність збоїв роботи мікроконтролера;
- стабільність цифрових інтерфейсів;

Результати моделювання показали, що система стабільно працює при різних режимах навантаження та забезпечує коректне функціонування всіх вузлів пристрою.

У результаті проведеного моделювання було підтверджено:

- працездатність принципової схеми;
- правильність взаємодії між модулями;
- стабільність роботи програмного забезпечення;
- коректність визначення ємності акумулятора;
- стабільність роботи цифрових інтерфейсів.

Таким чином, моделювання системи у середовищі Proteus підтвердило правильність розробленої апаратної та програмної частини системи моніторингу акумуляторних батарей та дозволило перевірити працездатність пристрою до етапу виготовлення друкованої плати.

4.3 Аналіз результатів моделювання

Після завершення моделювання системи у середовищі Proteus було виконано аналіз отриманих результатів та оцінку працездатності розробленої системи моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей. Основною задачею даного етапу була перевірка правильності роботи апаратної та програмної частини пристрою, а також оцінка стабільності функціонування системи при різних режимах роботи.

У процесі моделювання було підтверджено коректну взаємодію між усіма функціональними вузлами системи. Мікроконтролер ATmega328P стабільно виконував обробку даних, забезпечував роботу цифрових інтерфейсів та коректно реалізовував алгоритм інтегрування струму для визначення фактичної ємності акумулятора.

Особливу увагу під час аналізу приділяли роботі вузла вимірювання струму та напруги на базі INA219. Результати тестування показали, що датчик стабільно виконує вимірювання електричних параметрів при різних значеннях навантаження. Отримані дані коректно передавались через інтерфейс I2C та використовувались мікроконтролером для подальших обчислень.

Під час тестування алгоритму інтегрування струму система коректно виконувала накопичення значення ємності у процесі розряду акумулятора. При зміні струму навантаження результати обчислення оновлювались у реальному часі та відповідали заданим параметрам моделювання.

Отримані результати підтвердили правильність реалізації алгоритму визначення ємності:

$$Q = \sum I_n \Delta t \quad (4.1)$$

Похибка визначення ємності у процесі моделювання залишалась незначною та була пов'язана переважно із дискретністю вимірювання та округленням результатів під час обчислень.

У процесі аналізу також перевірялась стабільність роботи модуля реального часу DS3231. Результати тестування показали, що RTC-модуль коректно забезпечує підрахунок часових інтервалів та стабільно взаємодіє з мікроконтролером через I2C-шину.

Під час аналізу UART-моніторингу було встановлено, що передача даних через послідовний інтерфейс здійснюється стабільно без втрати інформації. Усі результати вимірювання коректно відображались у Virtual Terminal.

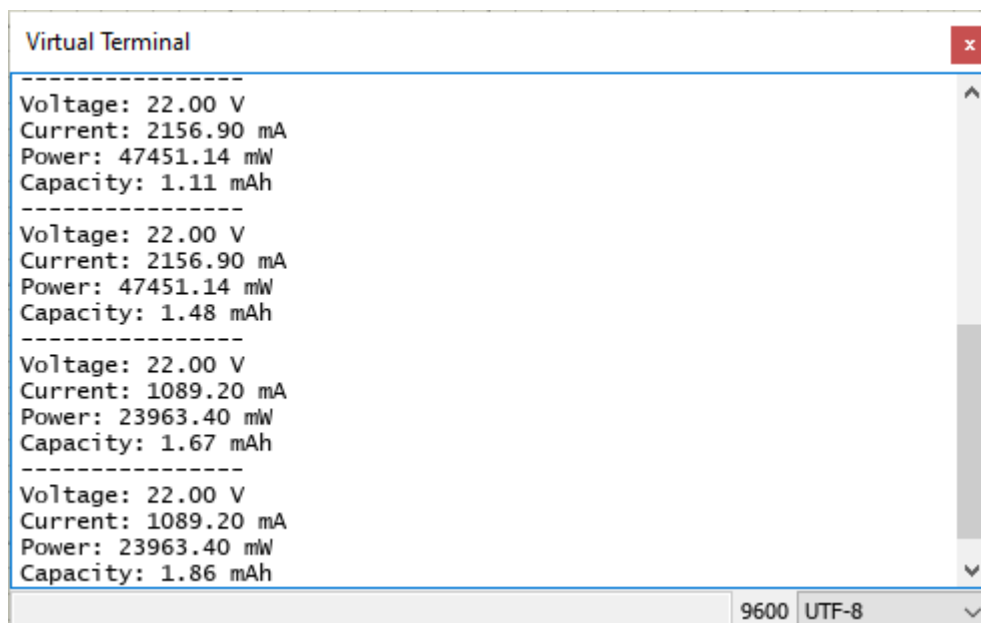


Рисунок 4.3 - Робота системи при зміні навантаження

У процесі моделювання також перевірялась робота системи при тривалому процесі розряду акумулятора. Результати показали, що алгоритм інтегрування струму стабільно працює протягом тривалого часу та не накопичує критичних похибок обчислення.

Проведений аналіз дозволив встановити, що основними факторами, які можуть впливати на точність визначення ємності, є:

- похибка вимірювання струму;
- нестабільність навантаження;
- дискретність часових інтервалів.

Проте використання цифрового датчика INA219 та RTC-модуля дозволило значно зменшити вплив цих факторів та забезпечити достатню точність роботи системи.

Під час моделювання не було виявлено конфліктів роботи I2C-пристроїв або помилок синхронізації цифрових інтерфейсів. Усі периферійні модулі стабільно взаємодіяли з мікроконтролером та коректно виконували свої функції.

Отримані результати підтвердили працездатність розробленої системи моніторингу акумуляторних батарей та правильність реалізації апаратної і програмної частини пристрою.

Таким чином, проведене моделювання та аналіз результатів підтвердили можливість використання розробленої системи для визначення фактичної ємності акумуляторних батарей у режимі реального часу. Система забезпечує стабільне вимірювання параметрів акумулятора, коректну роботу алгоритму інтегрування струму та надійну взаємодію між усіма функціональними вузлами пристрою.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі дипломної роботи було виконано проектування друкованої плати системи моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей та проведено моделювання роботи пристрою у середовищі Proteus.

У процесі проектування друкованої плати було виконано розміщення електронних компонентів, трасування сигнальних та силових ліній, а також сформовано повноцінну РСВ-модель пристрою у середовищі KiCad. Під час розробки плати особлива увага приділялась правильному розташуванню функціональних вузлів, мінімізації довжини сигнальних доріжок та зменшенню впливу електромагнітних завад на роботу цифрових інтерфейсів.

У результаті було створено компактну друковану плату, яка забезпечує стабільну взаємодію між усіма компонентами системи та відповідає вимогам до мікроконтролерних пристроїв моніторингу акумуляторних батарей.

Після завершення розробки РСВ було проведено моделювання системи у середовищі Proteus. Під час моделювання виконано перевірку роботи:

- мікроконтролера ATmega328P;
- датчика INA219;
- RTC-модуля DS3231;
- UART-моніторингу.

Результати моделювання підтвердили правильність взаємодії між усіма функціональними вузлами системи та стабільність роботи цифрових інтерфейсів I2C, UART та OneWire.

Особлива увага під час тестування приділялась перевірці алгоритму визначення фактичної ємності акумулятора методом інтегрування струму. У процесі моделювання система стабільно виконувала вимірювання струму та напруги, обчислювала потужність і накопичену ємність акумулятора, а також коректно оновлювала результати у режимі реального часу.

Проведений аналіз результатів моделювання показав, що система забезпечує:

- стабільне вимірювання параметрів акумулятора;
- коректну роботу програмного алгоритму;
- стабільний обмін даними між модулями;
- надійний UART-моніторинг системи.

Під час тестування не було виявлено критичних помилок роботи мікроконтролера або конфліктів між периферійними модулями. Система стабільно функціонувала при різних режимах навантаження та зміні параметрів моделювання.

Таким чином, у четвертому розділі було підтверджено працездатність розробленої системи моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей та правильність реалізації апаратної і програмної частини пристрою. Проведене моделювання показало можливість практичного використання системи для контролю параметрів акумуляторних батарей та визначення їх фактичної ємності у режимі реального часу.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи було розроблено систему моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей на базі мікроконтролера ATmega328P. У процесі роботи виконано аналіз сучасних методів визначення ємності акумуляторів, розроблено апаратну та програмну частину системи, а також проведено моделювання пристрою у середовищі Proteus.

На початковому етапі роботи було проведено аналіз особливостей роботи акумуляторних батарей та методів визначення їх фактичної ємності. Встановлено, що одним із найбільш ефективних методів є інтегрування струму у процесі розряду акумулятора, оскільки даний підхід дозволяє отримувати достатньо точні результати та добре підходить для реалізації у мікроконтролерних системах.

У процесі виконання роботи було розроблено структурну схему системи та обґрунтовано вибір основних компонентів. Для реалізації системи використано мікроконтролер ATmega328P, цифровий датчик струму та напруги INA219, модуль реального часу DS3231. Використання сучасної елементної бази дозволило створити компактну та функціональну систему моніторингу параметрів акумуляторної батареї.

У роботі було розроблено принципову електричну схему пристрою та виконано проектування друкованої плати у середовищі KiCad. Під час проектування враховувались вимоги до стабільності роботи цифрових інтерфейсів, мінімізації електромагнітних завад та правильного розташування функціональних вузлів системи.

Окрему увагу приділено розробці програмного забезпечення мікроконтролера. У процесі роботи було реалізовано алгоритм визначення фактичної ємності акумулятора методом інтегрування струму, організовано обмін даними через інтерфейси I2C, UART та OneWire, а також реалізовано відображення результатів вимірювання у режимі реального часу.

У середовищі Proteus проведено моделювання роботи системи та перевірено взаємодію між усіма функціональними вузлами. Результати моделювання підтвердили стабільність роботи системи, правильність реалізації програмного алгоритму та коректність визначення фактичної ємності акумуляторної батареї.

У процесі тестування система стабільно виконувала:

- вимірювання струму та напруги;
- обчислення потужності;
- накопичення значення ємності;
- передачу результатів через UART-моніторинг.

Результати роботи підтвердили можливість використання розробленої системи для тестування акумуляторних батарей та контролю їх технічного стану. Реалізований пристрій дозволяє визначати фактичну ємність акумулятора у режимі реального часу та може бути використаний у навчальних, лабораторних та дослідницьких цілях.

Практичне значення дипломної роботи полягає у створенні доступної та функціональної мікроконтролерної системи моніторингу акумуляторних батарей із використанням сучасної елементної бази та цифрових методів обробки даних.

Таким чином, у процесі виконання дипломної роботи було досягнуто поставленої мети - розроблено систему моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей, яка забезпечує вимірювання основних параметрів акумулятора та визначення його фактичної ємності методом інтегрування струму у режимі реального часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lithium-ion Battery [Електронний ресурс] // Wikipedia. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery. – Дата звернення: 28.05.2026.
2. Battery University [Електронний ресурс] // Battery University. – Режим доступу: <https://batteryuniversity.com/>. – Дата звернення: 28.05.2026.
3. Lithium-Ion Batteries: Fundamentals and Applications [Електронний ресурс] // Elsevier. – Режим доступу: <https://www.elsevier.com/>. – Дата звернення: 28.05.2026.
4. How to Prolong Lithium-based Batteries [Електронний ресурс] // Battery University. – Режим доступу: <https://batteryuniversity.com/article/bu-808-how-to-prolong-lithium-based-batteries>. – Дата звернення: 28.05.2026.
5. Battery State of Charge Estimation by Coulomb Counting [Електронний ресурс] // Battery Design. – Режим доступу: <https://www.batterydesign.net/soc-estimation-by-coulomb-counting/>. – Дата звернення: 28.05.2026.
6. Current Measurement in Embedded Systems [Електронний ресурс] // Texas Instruments. – Режим доступу: <https://www.ti.com/>. – Дата звернення: 28.05.2026.
7. Embedded Systems with Arduino [Електронний ресурс] // Wiley Publishing. – Режим доступу: <https://www.wiley.com/>. – Дата звернення: 28.05.2026.
8. Battery Management System [Електронний ресурс] // Wikipedia. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_management_system. – Дата звернення: 28.05.2026.
9. INA219 Zero-Drift, Bidirectional Current/Power Monitor With I2C Interface [Електронний ресурс] // Texas Instruments. – Режим доступу: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina219.pdf>. – Дата звернення: 28.05.2026.

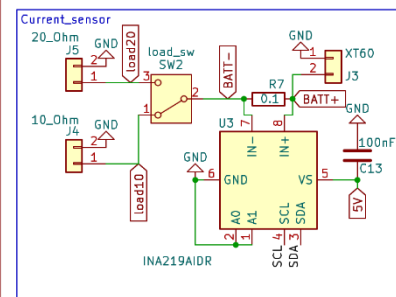
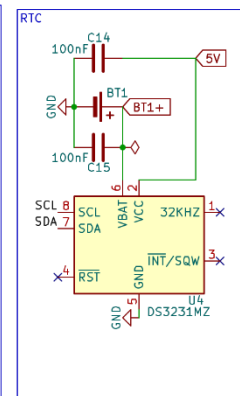
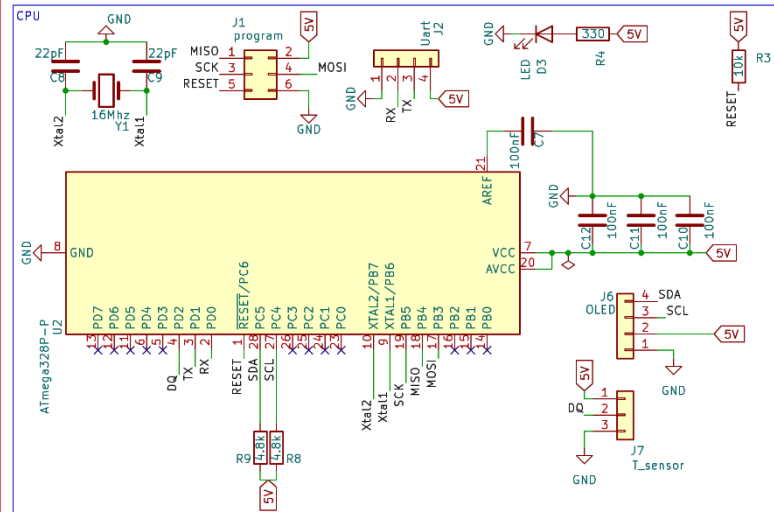
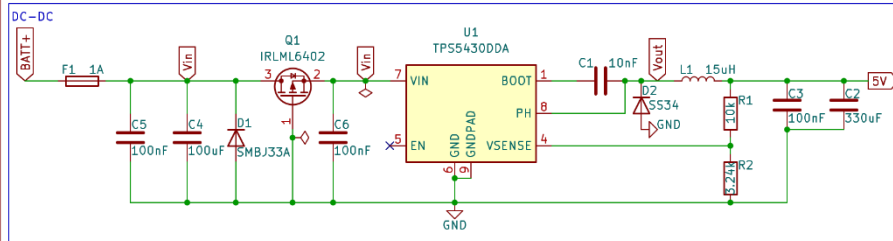
10. AVR Microcontroller Programming Manual [Электронный ресурс] // Microchip Technology Inc. – Режим доступа: <https://www.microchip.com/>. – Дата звернения: 28.05.2026.
11. DallasTemperature Library for Arduino [Электронный ресурс] // GitHub. – Режим доступа: <https://github.com/milesburton/Arduino-Temperature-Control-Library>. – Дата звернения: 28.05.2026.
12. ATmega328P Data Sheet [Электронный ресурс] // Microchip Technology Inc. – Режим доступа: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATmega328P-Data-Sheet-DS40002061B.pdf>. – Дата звернения: 28.05.2026.
13. DS3231 Extremely Accurate I2C-Integrated RTC/TCXO/Crystal [Электронный ресурс] // Analog Devices. – Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds3231.pdf>. – Дата звернения: 28.05.2026.
14. SSD1306 Monochrome OLED Display Datasheet [Электронный ресурс] // Adafruit. – Режим доступа: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/SSD1306.pdf>. – Дата звернения: 28.05.2026.
15. Adafruit INA219 Current Sensor Breakout [Электронный ресурс] // Adafruit Learning System. – Режим доступа: <https://learn.adafruit.com/adafruit-ina219-current-sensor-breakout/>. – Дата звернения: 28.05.2026.
16. Real Time Clock Module DS3231 Arduino Interface Tutorial [Электронный ресурс] // Random Nerd Tutorials. – Режим доступа: <https://randomnerdtutorials.com/arduino-ds3231-real-time-clock/>. – Дата звернения: 28.05.2026.
17. KiCad Documentation [Электронный ресурс] // KiCad. – Режим доступа: <https://docs.kicad.org/>. – Дата звернения: 28.05.2026.
18. Arduino IDE Official Website [Электронный ресурс] // Arduino. – Режим доступа: <https://www.arduino.cc/en/software>. – Дата звернения: 28.05.2026.

19. OneWire Library Reference [Электронный ресурс] // Arduino. – Режим доступа: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/onewire/>. – Дата звернення: 28.05.2026.
20. UM10204 I2C-bus Specification and User Manual [Электронный ресурс] // NXP Semiconductors. – Режим доступа: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>. – Дата звернення: 28.05.2026.
21. Arduino Wire Library Reference [Электронный ресурс] // Arduino. – Режим доступа:
<https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/wire/>.
– Дата звернення: 28.05.2026.
22. Adafruit INA219 Library [Электронный ресурс] // GitHub. – Режим доступа:
https://github.com/adafruit/Adafruit_INA219. – Дата звернення: 28.05.2026.
23. RTCLib for DS3231 [Электронный ресурс] // GitHub. – Режим доступа:
<https://github.com/adafruit/RTCLib>. – Дата звернення: 28.05.2026.
24. Arduino Serial Reference [Электронный ресурс] // Arduino. – Режим доступа:
<https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/serial/>.
– Дата звернення: 28.05.2026.
25. Proteus Design Suite Documentation [Электронный ресурс] // Labcenter Electronics. – Режим доступа: <https://www.labcenter.com/>. – Дата звернення: 28.05.2026.

ДОДАТКИ

Додаток А

МЕ.ДП.ДП2106.002ЕЗ



Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
U1	Мікросхеми та модулі		
U1	TP55430DDAR	1	HSOIC-8
U2	ATmega328P-AU	1	TQFP-32
U3	INA219AIDR	1	SOIC-8
U4	DS3231MZ	1	SOIC-16W
Y1	Пасивні елементи (Кварц, Діод, Дросель)		
Y1	16MHz SMD Crystal 3225	1	3225 SMD
L1	15uH SMD Power inductor	1	10x10mm SMD
D1	SMBJ33A	1	SMB
D2	SS34	1	SMA
D3	0805 LED	1	0805 SMD
BT1	Механіка та роз'єми		
BT1	CR2032 Battery Holder	1	THT
J1	2x3 2.54mm Pin Header	1	2x3 PinHeader
J2	1x4 2.54mm Pin Header	1	1x4 PinHeader
J3	XT60 Connector	1	XT60
J4	2-pin 5.08mm Terminal Block	1	5.08mm
J5	2-pin 5.08mm Terminal Block	1	5.08mm
J6	1x4 2.54mm Pin Header	1	OLED I2C
J7	1x3 2.54mm Pin Header	1	DS18B20
SW1	SMD Tactile Switch	1	SMD
SW2	JS202011CQN Slide Switch	1	SPDT
F1	1206 1A Fuse	1	1206
C1	Конденсатори (SMD)		
C1	10nF 0805 Capacitor	1	805
C2	330uF Electrolytic Capacitor	1	SMD Electrolytic
C3, C5-C7, C10-C15	100nF 0805 Capacitor	10	0805 X7R
C4	100uF Electrolytic Capacitor	1	SMD Electrolytic
C8, C9	22pF 0805 Capacitor	2	805
R1	Резистори (SMD)		
R1	10k 0805 Resistor	1	0805 1%
R2	3.24k 0805 Resistor	1	0805 1%
R3	10k 0805 Resistor	1	RESET pull-up
R4	330 Ohm 0805 Resistor	1	LED resistor
R7	0.1 Ohm 2W 1% Shunt Resistor 2512	1	2512
R8, R9	4.7k 0805 Resistor	2	I2C pull-up
OLED	Зовнішні модулі та навантаження		
OLED	0.96 inch SSD1306 OLED I2C	1	I2C
TEMP	DS18B20 Waterproof Sensor	1	Waterproof
LOAD1	10 Ohm 50W Aluminum Resistor	1	Aluminum корпус
LOAD2	20 Ohm 50W Aluminum Resistor	1	Aluminum корпус

МЕ.ДП.ДП2106.002ЕЗ

Зм. Арк.	Н°докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Кузнецов О. В.		
Перевір.			
Т.контр.			
Н.контр.			
Затверд.			

Система моніторингу реальної ємності акумуляторних батарей

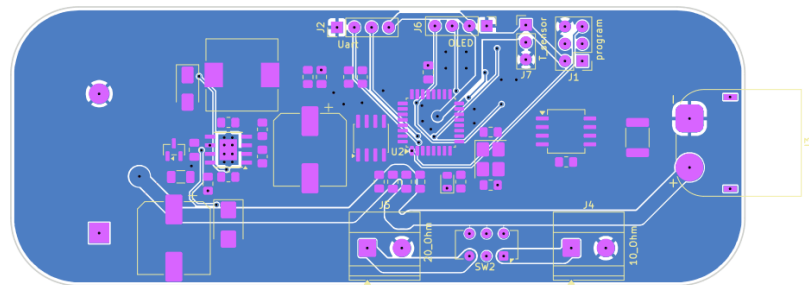
Літера	Маса	Масштаб
Аркуш 1	Аркушів 1	

ФЕЛ НТУУ

Копіював

Формат А4

Додаток Б



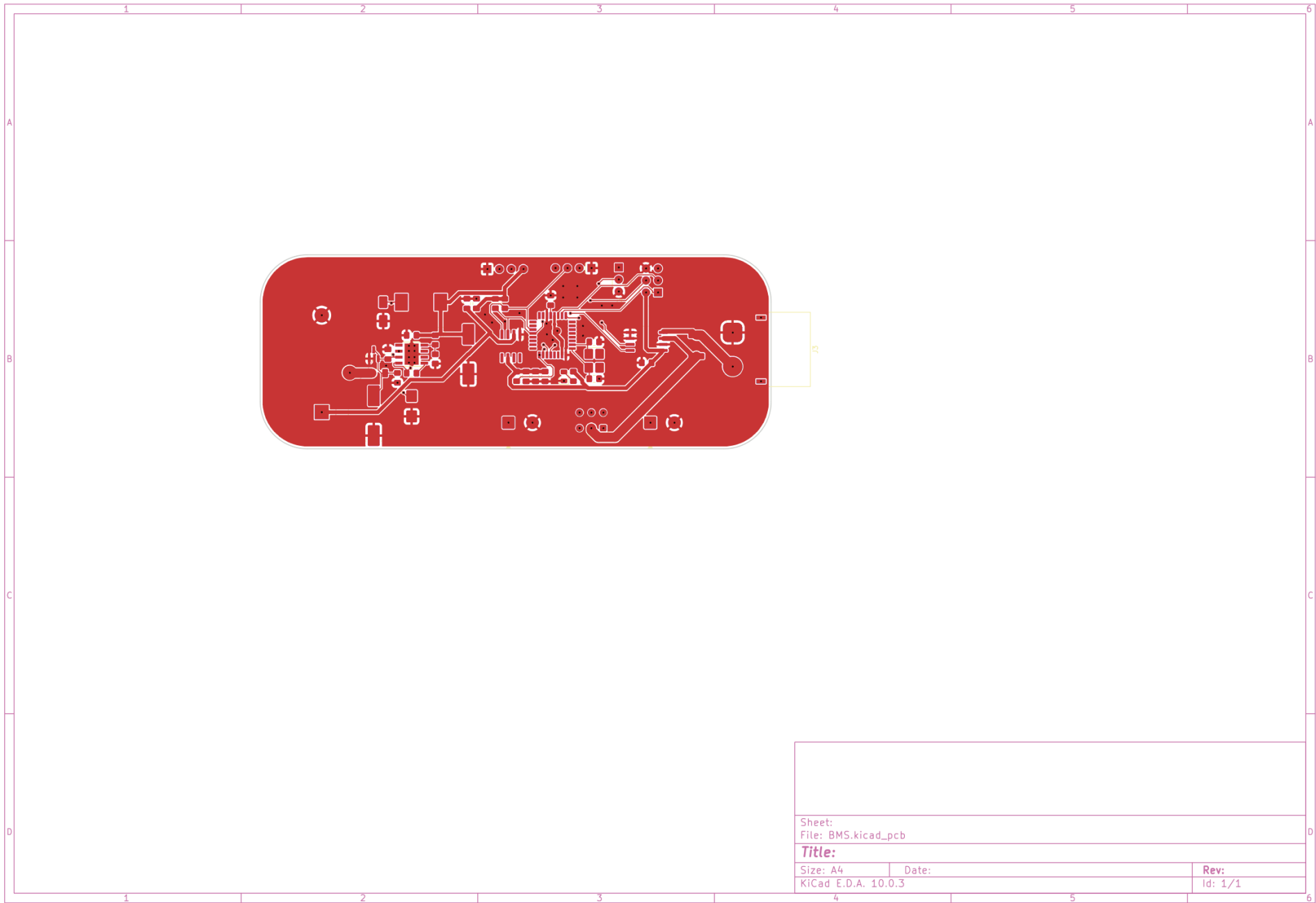
Sheet:
File: BMS.kicad_pcb

Title:

Size: A4 Date:

KiCad E.D.A. 10.0.3

Rev:
Id: 1/1



Sheet:		
File: BMS.kicad_pcb		
Title:		
Size: A4	Date:	Rev:
KiCad E.D.A. 10.0.3		Id: 1/1

Додаток В

