Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Зброя Костянтина Вікторовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621.31/.35
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення мікроконтролерного модулю для визначення електричної ємності та внутрішнього опору LiPo акумулятора в фотоелектричній електростанції
(назва роботи)

Інженерія відновлюваної енергетики
(назва освітньої програми)

152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(шифр і назва спеціальності)

К.В. Зброй
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Миндюк Валентин Дмитрович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри
професор Середюк О.Є.
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

_____
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ - 2024

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут Інформаційних технологій

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій

Освітній рівень Бакалавр

Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри
інформаційно-вимірювальних
технологій

О. Є. Середюк

"____ " _____2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Зброю Костянтину Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Розроблення мікроконтролерного модулю для визначення електричної ємності та внутрішнього опору LiPo акумулятора в фотоелектричній електростанції*

керівник роботи *Миндюк Валентин Дмитрович, к. т. н.,*,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від "24" квітня 2024 року №271/7

2. Строк подання студентом роботи 14 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Аналіз типів та особливостей роботи АКБ у сонячних електростанціях
Обґрунтнування вибору та опис параметрів апаратного забезпечення давачів, виконавчих пристроїв та мікроконтролерного модуля
Порівняльна характеристика вимірювань основних параметрів акб та розрахунок похибки результатів вимірів мікроконтролерного модуля

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтролер	*доцент Яворський А.В.*		
Перевірка на плагіат	*доцент Миндюк В.Д.*		

7. Дата видачі завдання

_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Видача завдань бакалаврської роботи.	24.04.2024	
2	Складання плану .	01.05.2024	
3	Підбір джерел, оброблення зібраних матеріалів.	06.05.2024-07.05.2024	
4	Написання вступу та розділу 1 “Аналіз типів та особливостей роботи АКБ у сонячних електростанціях”.	08.05.2024-13.05.2024	
5	Написання розділу 2 “Обґрунтування вибору та опис параметрів апаратного забезпечення давачів, виконавчих пристроїв та мікроконтролерного модуля”.	15.05.2024-21.05.2024	
6	Проведення порівняльної характеристики вимірювань та розрахунок похибки мікроконтролерного модуля.	22.05.2024-23.05.2024	
7	Написання розділу 3 “Порівняльна характеристика вимірювань основних параметрів акб та розрахунок похибки результатів вимірів мікроконтролерного модуля”.	25.05.2024-01.06.2024	
8	Оформлення роботи.	07.06.2024-14.06.2024	

Студент _____ _____

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ _____

(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Зброй К. В.“Розроблення мікроконтролерного модулю для визначення електричної ємності та внутрішнього опору LiPo акумулятора в фотоелектричній електростанції”. Дипломна робота освітнього рівня – бакалавр, на правах рукопису. Спеціальність – 152 “Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка”. – Івано-Франківськ, 2024.

Бакалаврська робота містить: 57 сторінок, 15 рисунків, 5 таблиць, 15 джерел, 7 додатків.

Об’єктом дослідження є процес вимірювання електричної ємності та внутрішнього опору літій-полімерних акумуляторів у фотоелектричних електростанціях.

Метою роботи є розробка мікроконтролерного модуля для точного визначення електричної ємності та внутрішнього опору Li-Po акумуляторів, що підвищить ефективність їх використання та тривалість роботи у фотоелектричних системах.

Під час виконання бакалаврської роботи було здійснено аналіз існуючих методів вимірювання електричних параметрів акумуляторів та розроблено апаратну частину мікроконтролерного модуля, що включає датчики струму та напруги, мікроконтролер Arduino та силові транзистори. Створено алгоритми вимірювання та обробки даних, розроблено програмне забезпечення для контролю та аналізу вимірювань струму, напруги, внутрішнього опору, електричної ємності та потужності акумуляторів.

Результати експериментальних досліджень підтвердили високу точність модуля. Проведено порівняння результатів вимірювань, отриманих за допомогою мультиметра та модуля. Отримані дані свідчать про практичну придатність модуля для використання у виробництві фотоелектричних станцій.

Результати досліджень дозволяють впровадити модуль у виробництво, що сприятиме підвищенню надійності та довговічності акумуляторів у сонячних енергетичних системах, зниженню витрат на їх обслуговування та підвищенню стабільності енергопостачання.

МІКРОКОНТРОЛЕРНИЙ МОДУЛЬ, ЕЛЕКТРИЧНА ЄМНІСТЬ, ВНУТРІШНІЙ ОПІР, LI-PO АКУМУЛЯТОР, ФОТОЕЛЕКТРИЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ.

ABSTRACT

Zbroi , K. V."Development of a Microcontroller Module for Determining the Electrical Capacity and Internal Resistance of a LiPo Battery in a Photovoltaic Power Station". Diploma work of education level – bachelor, in the form of a manuscript. Speciality – 152 “Metrology and information and measuring equipment”. – Ivano-Frankivsk, 2024.

The bachelor's thesis contains: 57 pages, 15 figures, 5 tables, 15 sources, 7 appendices.

The object of this research is the process of measuring the electrical capacity and internal resistance of lithium-polymer batteries in photovoltaic power plants.

The aim of the work is to develop a microcontroller module for accurately determining the electrical capacity and internal resistance of Li-Po batteries, which will improve their efficiency and lifespan in photovoltaic systems.

During the execution of the bachelor’s work, an analysis of existing methods for measuring the electrical parameters of batteries was carried out, and the hardware part of the microcontroller module was developed, including current and voltage sensors, an Arduino microcontroller, and power transistors. Algorithms for measurement and data processing have been created, and software has been developed for monitoring and analyzing measurements of current, voltage, internal resistance, electric capacity and capacity of batteries.

The results of the experimental studies confirmed the high accuracy of the module. A comparison of measurement results obtained using a multimeter and the module was conducted. The data obtained indicates the practical suitability of the module for use in the production of photovoltaic stations.

The research results allow for the implementation of the module in production, which will enhance the reliability and longevity of batteries in solar energy systems, reduce maintenance costs, and improve the stability of power supply.

MICROCONTROLLER MODULE, ELECTRICAL CAPACITY, INTERNAL RESISTANCE, LI-PO BATTERY, PHOTOVOLTAIC POWER PLANT.

ЗМІСТ

ВСТУП 10

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТИПІВ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ АКБ У СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ 12

1.1 Особливості СЕС, які використовують акумуляторні батареї 12

1.1.1 Автономна сонячна електростанція 12

1.1.2 Гібридна сонячна електростанція 14

1.2 Типи та конструктивні особливості АКБ для СЕС 16

1.2.1 Порівняння основних параметрів АКБ 20

1.3 Основні режими роботи та заряду АКБ 22

1.4 Постановка задачі на виконання бакалаврської роботи 24

1.5 Висновок до розділу 1 25

РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТА ОПИС ПАРАМЕТРІВ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДАВАЧІВ, ВИКОНАВЧИХ ПРИСТРОЇВ ТА МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО МОДУЛЯ 27

2.1 Принципова схема електронного модуля пристрою 27

2.2 Спрощена структурна блок-схема модуля пристрою 29

2.2.1 Призначення елементів та з'єднань 29

2.2.2 Опис з'єднань 31

2.3 Основні компоненти пристрою 32

2.3.1 Датчик струму 32

2.3.2 Датчик напруги 33

2.3.3 Плата Arduino Uno 35

2.3.4 MOSFET транзистор 36

2.4 Розробка алгоритму роботи пристрою 37

2.4.1 Методи для вимірювання ємності акумулятора 37

2.4.2 Метод для вимірювання внутрішнього опору акумулятора 37
2.4.3 Розробка алгоритму вимірювання ємності 38
2.4.4 Розробка алгоритму вимірювання внутрішнього опору 39
2.5 Опис програмного забезпечення модуля мікроконтролера на базі Arduino 40
2.5.1 Опис програми роботи модуля мікроконтролера 41
2.6 Висновок до розділу 2 45
РОЗДІЛ 3 ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИМІРЮВАНЬ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ АКБ ТА РОЗРАХУНОК ПОХИБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРІВ МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО МОДУЛЯ 46
3.1 Вимірювання параметрів АКБ 47
3.2 Опрацювання та аналіз порівняльних результатів вимірювань параметрів АКБ 52
3.3 Висновок до розділу 3 54
ВИСНОВКИ 55
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА 56
ДОДАТОК А……..58
ДОДАТОК Б…….62
ДОДАТОК В…….65
ДОДАТОК Г……...…67
ДОДАТОК Д……..69
ДОДАТОК Е…….....74
ДОДАТОК Ж……76

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ СИМВОЛІВ

1. АКБ - Акумуляторна батарея
2. Li-Po - Літій-полімерний (акумулятор)
3. СЕС - Сонячна електростанція
4. BMS - Система управління батареєю (Battery Management System)
5. AGM - Абсорбуючий скловолоконний матеріал (Absorbent Glass Mat)
6. GEL - Гелеподібний електроліт (Gelled Electrolyte)
7. I2C - Інтегральна схема (Integrated Circuit)
8. PWM - Широтно-імпульсна модуляція (Pulse Width Modulation)
9. SOC - Рівень заряду (State of Charge)
10. DOD - Глибина розряду (Depth of Discharge)
11. MOSFET - Польовий транзистор на основі метал-оксид-напівпровідник (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)
12. USB - Універсальна послідовна шина (Universal Serial Bus)
13. EEPROM - Електрично стираєма програмована постійна пам'ять (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)
14. SRAM - Статична оперативна пам'ять (Static Random Access Memory)
15. BULK - Основний масивний зарядний етап (основний етап зарядки)
16. FLOAT - Плаваючий зарядний етап (підтримуючий заряд)
17. ABSORPTION - Поглинальний зарядний етап (заряд постійною напругою)
18. IRLZ44N - Тип силового польового транзистора

ВСТУП

Актуальність теми

Сучасні проблеми енергетичного дефіциту, з якими стикається світ, особливо країни, що розвиваються, вимагають знайти найбільш зручне для використання альтернативне джерело енергії, яке б доповнило звичайне викопне паливо. Одним із таких джерел є сонячна енергія. Вона генерується завдяки використанню енергії сонячного випромінювання та є найчистішим джерелом енергії, оскільки не забруднює клімат. Важливим компонентом для зберігання та ефективного використання сонячної енергії є акумулятори, зокрема літій-полімерні (Li-Po) акумулятори. Однак для забезпечення їхньої тривалої та надійної роботи необхідно точно визначати їхню електричну ємність та внутрішній опір. Тому розробка мікроконтролерного модуля для визначення цих параметрів є надзвичайно актуальною задачею.

Мета і завдання дослідження

Мета роботи полягає у розробленні мікроконтролерного модуля для визначення електричної ємності та внутрішнього опору Li-Po акумулятора, що використовуються у фотоелектричних електростанціях.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- З’ясування основних методів вимірювання електричної ємності та внутрішнього опору Li-Po акумуляторів;
- Визначення параметрів струму, напруги, внутрішнього опору, електричної ємності та потужності акумуляторів та вимог до мікроконтролерного модуля для забезпечення точних вимірювань;
- Розроблення алгоритмів вимірювання та обробки даних;
- Розробка схемотехнічного рішення для мікроконтрольного модуля;
- Розроблення та реалізація програмного забезпечення для контролю та аналізу вимірювань.

Об’єкт дослідження

Об’єктом дослідження є процес контролю параметрів літієвих акумуляторів в процесі їх заряджання.

Предмет дослідження

Предметом дослідження є методи та засоби вимірювання електричної ємності та внутрішнього опору Li-Po акумуляторів за допомогою мікроконтрольного модуля.

Методи дослідження

Для вирішення поставлених в роботі завдань використовувались такі методи дослідження:

- Теоретичний аналіз літератури та існуючих методів вимірювання електричних параметрів акумуляторів для обґрунтування вибору методів дослідження;
- Інтерполяція та математичний аналіз результатів вимірювань для визначення точності та ефективності розробленого мікроконтролерного модуля;
- Комп’ютерне програмне моделювання для створення алгоритмів роботи мікроконтролерного модуля;
- Схемотехнічний метод для розробки апаратної частини модуля.

Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення отриманих результатів полягає у їх технічній реалізації в мікроконтролерних системах контролю процесу заряджання акумуляторних батарей для сонячних електростанцій, що дозволяє здійснювати коректний заряд батарей і при цьому підвищувати їх довговічність за рахунок зменшення втрат ємності.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ТИПІВ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ АКБ У СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

1.1 Особливості СЕС, які використовують акумуляторні батареї

Сонячні електростанції з акумуляторними батареями стають все більш важливим компонентом сучасної енергетичної системи. Зростаюча доступність та вдосконалення технологій роблять такі системи все більш економічно вигідними та зручними для широкого кола споживачів.

Електрохімічні акумуляторні батареї використовуються для накопичення енергії в двох видах сонячних електростанціях: автономних та гібридних. Кожному типу притаманні свої характеристики та особливості експлуатації поряд з взаємодією з загальною електричною мережею. Розглянемо детальніше кожен з цих типів СЕС.

1.1.1 Автономна сонячна електростанція

Автономна сонячна електростанція – комплекс конструктивних рішень з фотоелектричними модулями, призначений для забезпечення автономного живлення об’єкту без використання енергії з загальної мережі електропостачання. Схема автономної сонячної електростанції зображена на рис.1.1.

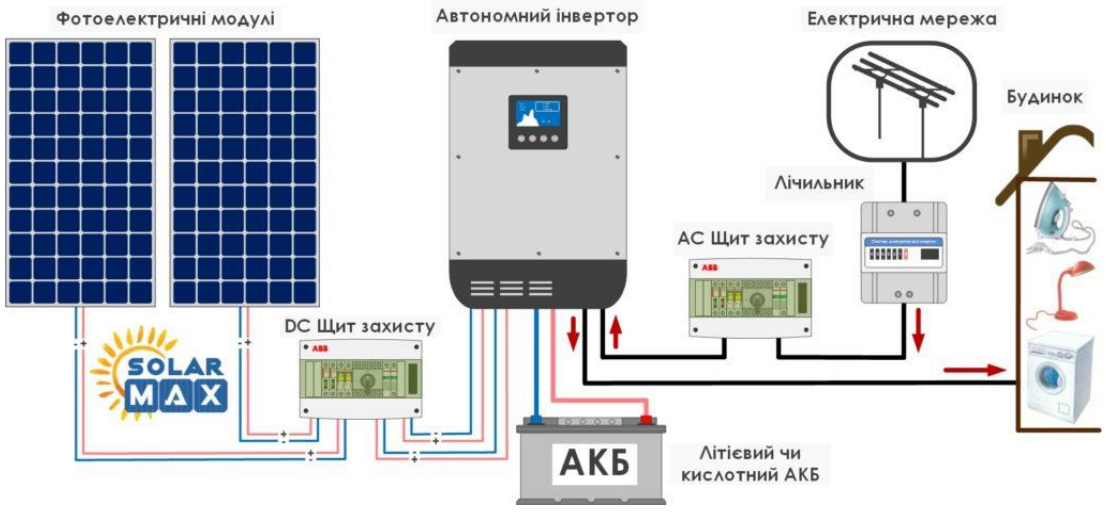


Рисунок 1.1 – Схема автономної сонячної електростанції [1]

Основними елементами автономної СЕС є:

1. Масив фотоелектричних модулів, призначений для генерації постійного струму з сонячного випромінювання, яке надходить на поверхню панелей;
2. Контролер заряду – перетворює постійний струм DC в постійний струм DC, з необхідними значеннями параметрами для підтримки всіх режимів роботи акумуляторних батарей (АКБ);
3. Акумуляторні батареї, які накопичують в собі заряд під час генерації електроенергії фотоелектричними модулями та віддають заряд для живлення споживачів;
4. Автономний інвертор, який перетворює постійний струм DC, який надходить від фотомодулів або акумуляторних батарей, в змінний струм AC для живлення споживачів. Деякі автономні інвертори можуть містити в собі вбудовані контролери заряду;
5. Лічильник електроенергії, який веде облік спожитої електричної енергії з мережі за її наявності;
6. Споживачі електроенергії, які користуються електроенергією з мережі, коли вона наявна, та при її відсутності живляться з накопиченої або згенерованої енергії від СЕС.

Однією з особливостей автономних сонячних електростанцій є їх взаємодія з загальною електричною мережею. Автономні СЕС чудово справляються з задачею забезпечення стабільної та надійної енергії для споживачів у періоди відсутності електричної мережі. Акумуляторні батареї, які є обов’язковим компонентом для роботи системи, заряджаються тоді, коли генерація від фотоелектричних модулів перевищує споживання об’єкту, та віддають свій заряд тоді, коли споживання зростає понад можливі потужності СЕС. Це все відбувається при відсутності мережі. Коли вона наявна, мережа може забезпечувати необхідне споживання та компенсувати нестачу енергії, при необхідності заряджати акумуляторні батареї. Проте варто зауважити, що електроенергії, згенерована за допомогою автономних СЕС, не може бути

передана та продана в мережу, використання «зеленого тарифу» для таких систем є забороненим.

До головних переваг використання автономних сонячних станцій відносять:

- швидку самоокупність;
- повністю автономний режим роботи при коректному підборі акумуляторних батарей;
- стабільність системи, що не допускає перепадів напруги.

Недоліками автономних станції вважають:

- несумісність з «зеленим тарифом», втрата фінансових переваг при його використанні;
- збільшення вартості СЕС через акумуляторні батареї, які потребують періодичної заміни;
- обмеження у ресурсі при зменшенні рівня сонячної інсоляції;
- потреба в аварійному джерелі живлення.

1.1.2 Гібридна сонячна електростанція

Гібридні сонячні електростанції – комплекс конструктивних рішень з фотоелектричними модулями, який поєднує в собі переваги мережевих систем, які можуть генерувати енергію та продавати її в загальну мережу, та автономних, які забезпечують незалежність від мережі. Тобто, універсальні сонячні електростанції гібридного типу можуть працювати як з акумуляторами, так і з мережею. Обладнання може миттєво перемикатися між джерелами живлення (мережа/батареї), щоб забезпечити безперебійне електропостачання. Гібридні СЕС також можуть працювати за індивідуальними налаштуваннями (з пріоритетним та непріоритетним навантаженням), наприклад, гріти воду в певний час доби або забезпечувати зарядку електромобіля лише від сонячної енергії [2]. Схема гібридної сонячної електростанції показана на рис.1.2.

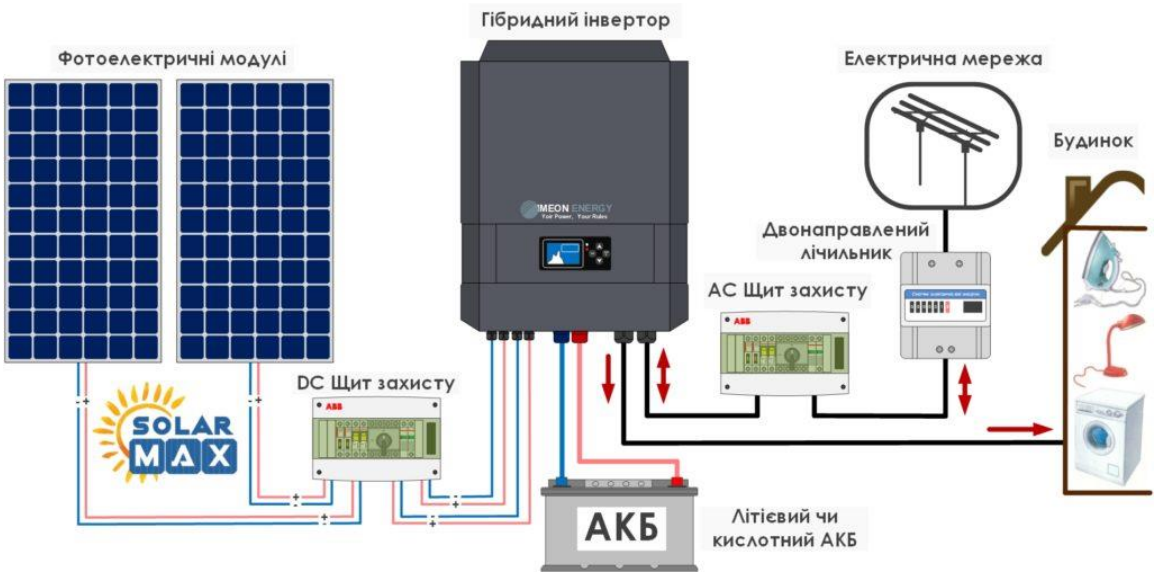


Рисунок 1.2 – Схема гібридної сонячної електростанції [1]

Компоненти гібридних СЕС частково співпадають з автономними системи, проте є кілька таких, які відрізняють цей тип систем від інших:

1. Гібридний інвертор, який може мати вбудований контролер заряду та можливість налаштування роботи на пріоритетне (з меншою потужністю) та непріоритетне (з більшою потужністю) навантаження. Також гібридний інвертор забезпечує передачу частини згенерованої електроенергії в загальну мережу.

2. Двонаправлений лічильник електроенергії – проводить облік електроенергії, яка була згенерована фотоелектричними модулями, та енергії, яка надійшла в систему з електричної мережі.

Гібридні сонячні електростанції відрізняються своєю багатофункціональністю, що робить їх привабливим рішенням для багатьох користувачів. Коли продуктивність модулів є більшою за споживання об’єкту, гібридна станція забезпечує енергією пріоритетне навантаження з меншою потужністю, заряджає акумуляторні батареї та надає частину потужностей непріоритетному навантаженню. Домішування енергії з мережі може бути короткочасним або взагалі відсутнім, в залежності від кількості енергії, яку генерує СЕС. Коли мережа відсутня – гібридна станція працює в режимі автономної та забезпечує навантаження з фотоелектричних модулів або АКБ. Важливим є те, що гібридні станції здатні віддавати надлишок своєї генерації за «зеленим тарифом» в мережу та приносити прибуток.

Основними перевагами гібридних станцій є:

- поєднання позитивних особливостей мережевих та автономних станцій;
- можливість встановлення пріоритетності навантаження;
- енергонезалежність системи при відсутності загальної електромережі;
- продаж надлишків згенерованої енергії за різними фінансовими механізмами, в тому числі «зеленим тарифом», які прискорюють термін окупності.

Проте в таких системах присутні й недоліки, які можна виділити як:

- висока вартість через наявність акумуляторних батарей;
- складність проектування та монтажу системи.

Розглянувши два основних типи сонячних електростанцій, які використовують акумуляторні батареї, можна беззаперечно відзначити важливість цього компоненту для загального стабільного функціонування системи. Від правильного вибору акумуляторних батарей буде залежити вартість та ефективність роботи сонячної електростанцій. Тому критично важливо аналізувати основні характеристики та види АКБ для забезпечення необхідного режиму роботи станції.

1.2 Типи та конструктивні особливості АКБ для СЕС

На світовому ринку найбільш поширеними є літієві, свинцеві та системи акумулювання на основі нікелю.

Літій-іонні батареї займають 37% ринку і мають застосування в портативних пристроях і електричних силових агрегатах.

Свинцево-кислотні системи зайняли 33% і є надійним та економічним джерелом живлення для найширших сфер застосування. Область їх застосування можна розділити: (20%) стартерні акумуляторні батареї, (8%) для резервного живлення, і (5%) на батареї для електротранспорту.

Нікелевмісні батареї мають великий строк служби та не бояться повного розряду, але вони займають лише 3% на ринку[3].

В системах відновлюваних джерел енергії найчастіше застосовують свинцево-кислотні та літієві системи, тому надалі детальніше розглянемо їх типи та конструктивні особливості.

Свинцево-кислотні акумуляторні батареї – електричні акумулятори із категорії вторинних батарей, спосіб роботи яких заснований на електрохімічних реакціях свинцю і діоксиду свинцю в кислому сірчаному середовищі. Будова свинцево-кислотного акумулятора зображена на рис. 1.3.

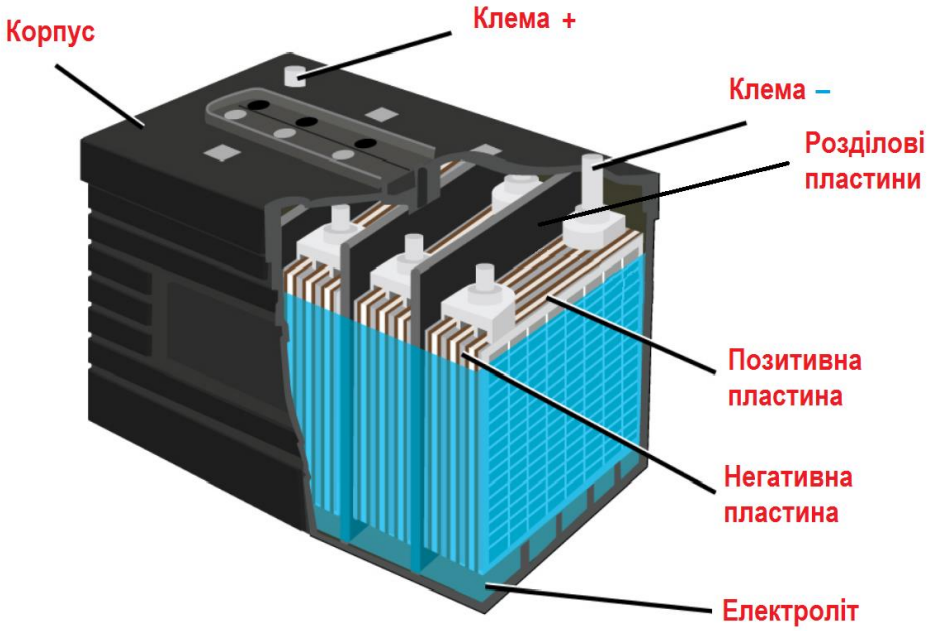


Рисунок 1.3 – Будова свинцево-кислотного акумулятора [4]

Залежно від потрібної напруги і загальної ємності акумулятори збирають з кількох елементів. Тож у більшості випадків, акумулятор виконується у вигляді послідовного (або паралельного) з'єднання кількох «елементів» — кожен з яких забезпечує напругу у 2 В і складається з кількох груп свинцевих пластин вкритих окисом свинцю і кислотою. Свинцева решітка покрита окисом свинцю називається пластиною. Кожен свинцевий елемент, який є групою пластин, має по дві клеми на позитивному боці елемента, і на негативному. Пластини елемента акумулятора виготовляють зі свинцю і його двоокису, а завдання електроліту виконує сульфатна кислота. Потім пластини поміщають в короб (зазвичай з пластика) і заливають водним розчином кислоти[5].

Існують дві основні технології виготовлення свинцево-кислотних АКБ:

1. AGM-технологія (*від англ. Absorbent Glass Mat - абсорбуючий скловолоконний матеріал*)

Ця технологія виготовлення свинцево-кислотних акумуляторів створена інженерами Gates Rubber Company на початку 1970-х років. Відмінність батарей AGM від класичних у тому, що в них міститься абсорбований електроліт, а не рідкий, що дає ряд змін у властивостях акумулятора[6]. Між позитивною та негативною пластинами знаходиться свого роду губка просякнута електролітом, яка утримує електроліт в своїх порах. Усі дрібні пори абсорбуючого скляного мату заповнені електролітом, а великі пори слугують для рециркуляції газів, які утворюються в наслідок тривалої роботи акумулятора.

2. GEL-технологія (*від англ. Gelled Electrolite – гелеподібний електроліт*)

GEL акумулятори досить схожі з AGM типом. В гелевих акумуляторах використовується речовина на основі рідкого електроліту і двооксиду кремнію (SiO2), завдяки чому утворюється густа маса, схожа на гель. Цією масою заповнюється простір між пластинами, і в результаті хімічних реакцій в гелі утворюються численні газові бульбашки. Через те, що електроліт знаходиться в густому стані, він менш схильний на розпад складових води та кислоти, завдяки цьому акумулятори краще витримують погані струми заряду[7].

Свинцево-кислотні акумулятори – це перевірений та надійний тип акумуляторів, який використовується вже більше 100 років. Найбільшою перевагою даного типу є доступність та низька вартість, в порівнянні з іншими типами АКБ, що робить його рішенням для багатьох систем, в тому числі й сонячних електростанцій. Проте присутній ряд значних недоліків даного типу. Свинцеві АКБ мають обмежену ємність, поряд з цим велику вагу та об’єм, деякі з них також потребують регулярного обслуговування.

На перевагу свинцево-кислотним акумуляторам на світовому ринку зайняли своє місце літієві акумулятори, які на даний час вважають найбільш технологічно розвиненими.

Літієві (літій-іонні) акумулятори - це тип акумуляторних батарей, в яких для зберігання електричної енергії використовується літій у різних хімічних сполуках.

Акумулятори даного типу володіють найбільшим співвідношенням місткості до розмірів корпусу, завдяки чому літій-іонні батареї дають змогу виготовляти потужні акумулятори з мінімальними розмірами та вагою. Будова літієвого акумулятора зображена на рис. 1.4.

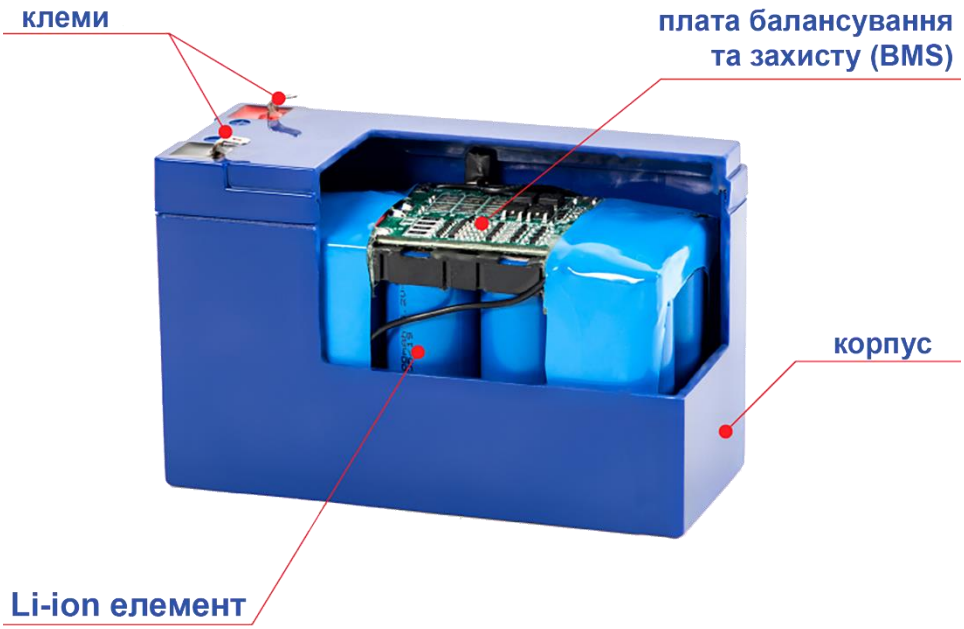


Рисунок 1.4 – Будова літій-іонного акумулятора [7]

Попри вагомі переваги, дані акумулятори є доволі вибагливими і потребують своєрідного догляду та контролю. Однією з важлививих складових літій-іонних акумуляторів є BMS контролер, який контролює процес зарядки та розрядки, аналізує стан усіх компонентів, знімає показники температури, напруги, опору та ін показників. Крім цього BMS плата розподіляє та балансує струми між компонентами акумулятора.

Літій-іонні акумулятори мають доволі велику кількість підвидів, найбільш поширені це: літій-залізо-фосфатні ($LiFePO_4$), літій-кобальтові($LiCoO_2$), літій-марганцеві ($LiMn_2O_4$), літій-нікель-марганець-кольбат-оксидні($LiNiMnCoO_2$), літій-нікель-кольбат-алюміній-оксидні($LiNiCoAlO_2$), літій-титанні ($Li_4Ti_5O_{12}$) [7]. Серед перелічених видів в системах відновлюваної енергетики, в тому числі

в автономних і гібридних СЕС найчастіше застосовують літій-залізо-фосфатні (LiFePO4) акумуляторні батареї. Цей тип літій-іонної батареї використовує залізофосфат літію як матеріал катода, і графітовий вуглецевий електрод з металевою підкладкою як анода.

Літієві акумулятори ширико застосовуються в пристроях з великим енергоспоживанням, або в тих системах, де вимагається максимальна тривалість автономної роботи.

1.2.1 Порівняння основних параметрів АКБ

Основними параметрів акумуляторних батарей є:

- номінальна ємність (А·год або кВт·год) – енергія повністю зарядженої АКБ;
- номінальна напруга (В) – напруга, при якій акумулятор працює протягом свого звичайного циклу заряджання-розряджання;
- зарядний струм (А) – електричний струм, який використовується для заряджання акумулятора, часто виражається у вигляді C-rate, що є часткою ємності акумулятора;
- розрядний струм (А) – електричний струм, який витрачається акумулятором під час його використання для живлення пристроїв або систем, також часто виражається у вигляді C-rate;
- кількість циклів – кількість разів, яку акумулятор може пройти через повний цикл заряджання і розряджання; або енергія за строк експлуатації (кВт·год) – загальна кількість енергії, яку акумулятор може віддати за весь період своєї експлуатації;
- стан заряду SOC (*від англ. State of Charge*) – показник, який вказує на рівень заряду АКБ по відношенню до її номінальної ємності у відсотковому значенні;
- глибина розряду DOD (*від англ. Depth of Discharge*) – параметр, який вказує наскільки розряджена АКБ по відношенню до номінальної ємності у відсотковому значенні.

Основні параметри акумуляторних батарей визначають їхні характеристики та продуктивність, дозволяючи обирати найбільш підходящий тип акумулятора для конкретних потреб. Кожен з параметрів дає важливу інформацію про можливості та обмеження акумулятора.

Оскільки свинцево-кислотні та літій-залізо-фосфатні є найбільш поширеними на ринку в системах сонячної енергетики, проаналізуємо їх особливості. Для отримання загальної картини основних параметрів свинцево-кислотних та літієвих акумуляторів, сформуємо порівняльну таблицю.

Таблиця 1.1 – Порівняння основних параметрів свинцево-кислотних та літій-залізо-фосфатних АКБ

Параметр	Свинцево-кислотні АКБ	Літієві АКБ (LiFePO4)
номінальна ємність, А·год	20-200	10-300
номінальна напруга, В	2 В на елемент (звичайно 12 В для батареї з 6 елементів)	3,2-3,3 В на елемент (звичайно 12,8 В для батареї з 4 елементів)
зарядний струм, А	0,1-0,3С	0,5-1С
розрядний струм, А	0,2-1С	1-2С
кількість циклів	300-500	2000-5000
стан заряду SOC, %	40-70% для оптимальної тривалості служби	20-100% (20-80% для довшого терміну служби)
глибина розряду DOD, %	<50%	<95%

Аналізуючи параметри свинцево-кислотних та LiFePO4 акумуляторів, можна виділити ключові відмінності, які впливають на їх використання та ефективність.

Свинцево-кислотні акумулятори мають довгу історію використання і добре відомі своєю надійністю, їх низька вартість та простота у використанні приваблює. З результатів таблиці можна виділити їх нижчий струм заряду, проте

загалом по характеристикам даний тип акумуляторних батарей значно поступається літій-залізно-фосфатним АКБ. Свинцево-кислотні акумулятори можуть бути вигідним вибором у випадках, коли бюджет обмежений, а висока кількість циклів не є критичною вимогою.

Літієві акумулятори пропонують сучаснішу альтернативу. Очевидними перевагами цих акумуляторів є більше номінальна ємність, тривалий термін служби, відсутність потреби у частому обслуговуванні. Даний тип АКБ легко масштабувати по напрузі та ємності.

Загалом, LiFePO4 акумулятори мають більше переваг, зокрема триваліший життєвий цикл, кращу глибину розряду та більшу стабільність. Вони ідеально підходять для застосувань, де важлива довговічність та мінімальне обслуговування. Саме тому можна зробити висновок, що цей тип АКБ є найкращим рішенням для системи резервного живлення, яка є частиною автономної або гібридної сонячної електростанції.

1.3 Основні режими роботи та заряду АКБ

Розрізняють два режими роботи акумуляторів: буферний і циклічний, які використовуються в АКБ системах в залежності від сфери їх застосування.

Буферний режим також відомий як режим резервного живлення або режим постійної напруги. В цьому режимі АКБ використовується для забезпечення живлення об’єкту у випадку перебоїв в електропостачанні. АКБ постійно підтримується в зарядженому стані за допомогою зарядного пристрою, підключеного до мережі і дуже рідко отримує глибокий розряд. Під час перебоїв в електропостачанні АКБ розряджається, щоб забезпечити живлення навантажень. Цей режим роботи використовується в системах безперебійного живлення, аварійному освітленні та інших подібних застосуваннях.

Циклічний режим – режим роботи АКБ, при якому вони періодично розряджаються до певного рівня, а потім заряджаються знову. Термін експлуатації акумуляторів на даному режимі залежить від глибини розрядів, що відбуваються під час роботи пристрою. Циклічний режим роботи АКБ

використовують в системах збереження енергії на сонячних електростанціях, електромобілях, портативних електроінструментах і тд.

Основний показник повної зарядженості батареї - це падіння струму, який приймає акумулятор. Зарядка повністю розрядженого акумулятора в буферному режимі зазвичай в 3-4 рази довше, ніж в циклічному [8].

Процес заряду АКБ можна в цілому поділити на три стадії:

- заряд постійним струмом (Bulk-стадія);
- заряд постійною напругою (Absorption-стадія);
- підтримуючий заряд (Float-стадія).

Параметри АКБ на трьох стадіях заряду показані нижче на рис. 1.5.

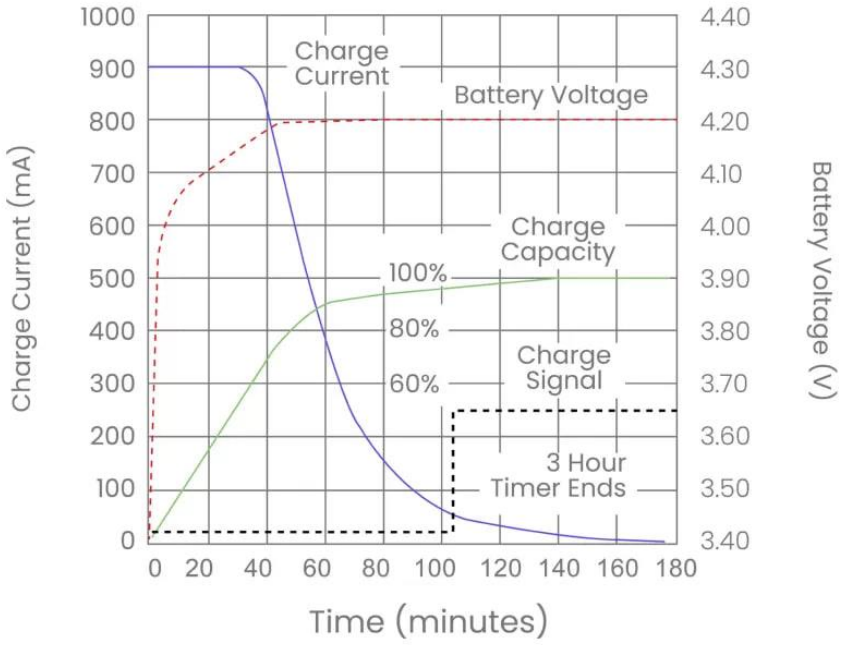


Рисунок 1.5 – Параметри АКБ на стадіях заряду [9]

На Bulk-етапі (*від англ. Bulk – основний, масивний*) акумуляторна батарея заряджається максимально можливим струмом на 80-90% від своєї повної ємності. В цей час напруга поступово збільшується, проте залишається нижчою за напругу поглинання. Цей етап є найбільш ефективним для швидкого відновлення ємності акумулятора. Для свинцево-кислотних акумуляторів це допомагає уникнути надмірного утворення газів і перегріву. Для літієвих

акумуляторів, таких як LiFePO4, цей етап дозволяє швидко зарядити батарею без ризику перегріву або деградації.

На стадії Absorption (*від англ. Absorption – поглинання*) напруга АКБ підтримується на постійному рівня, в той час як струм поступово зменшується в мірі того, як акумулятор набирає ємність. Цей етап займає більше часу, оскільки акумулятор повільно завершує процес заряджання, поглинаючи залишкову енергію. Це дозволяє зменшити внутрішній опір і стабілізувати хімічні процеси всередині батареї. Для свинцево-кислотних акумуляторів цей етап важливий для зменшення сульфатації пластин, тоді як для літієвих акумуляторів він забезпечує точний контроль зарядного процесу.

На стадії Float (*від англ. Float – плаваючий*) акумуляторна батарея вже повністю зарядження і перебуває в стані підтримки набраної ємності. В цьому режимі напруга АКБ постійна, а струм – мінімальний, достатній для компенсації природнього саморозряду акумулятора. Цей етап особливо важливий для підтримки акумулятора в стані готовності до використання, коли він залишається підключеним до зарядного пристрою протягом тривалого часу.

Кожен з цих етапів має критичне значення для забезпечення ефективного і безпечного заряджання акумуляторних батарей. Основний етап швидко відновлює більшу частину ємності акумулятора, етап поглинання дозволяє акумулятору досягти повного заряду, а плаваючий етап підтримує заряд на оптимальному рівні для тривалого зберігання. Дотримання цих етапів заряджання допомагає продовжити термін служби акумулятора і забезпечити його надійність в експлуатації.

1.4 Постановка задачі на виконання бакалаврської роботи

Призначенням розробки є створення та впровадження системи для визначення електричної ємності та внутрішнього опору LiPo акумулятора в фотоелектричній електростанції. Така система сприятиме автоматизації процесу моніторингу та аналізу стану акумуляторів, що дозволить ефективніше

управляти енергетичними ресурсами та підвищити надійність і продуктивність фотоелектричних систем.

Метою розробки є створення автоматизованої системи для вимірювання електричної ємності та внутрішнього опору LiPo акумуляторів, що використовується у фотоелектричних електростанціях.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати наступні завдання:

- Обґрунтувати вибір та описати параметри апаратного забезпечення давачів, виконавчих пристроїв та мікроконтролерного модуля.
- Розробити схему електронного модуля пристрою.
- Розробити алгоритм роботи пристрою, на базі методів для вимірювання ємності акумулятора та вимірювання внутрішнього опору акумулятора.
- Розробити програму для реалізації алгоритму роботи модуля на базі Arduino, яке буде реалізовувати функції вимірювання та обробки даних.
- Провести верифікацію розробленого модуля, вимірюючи основні параметри акумуляторних батарей;
- Проаналізувати результати тестування, визначити похибки результатів вимірювання та при необхідності здійснити коригування алгоритму роботи модуля на основі отриманих даних.

Ці завдання спрямовані на створення ефективного та надійного інструменту для моніторингу стану LiPo акумуляторів, що дозволить підвищити ефективність роботи фотоелектричних електростанцій та зменшити ризики, пов'язані з використанням несправних або зношених акумуляторів.

1.5 Висновок до розділу 1

Автономні та гібридні сонячні електростанції які використовують акумуляторні батареї, мають значні переваги в забезпеченні стабільного та надійного електропостачання. Акумулятори, які є критичним компонентом даних систем, дозволяють ефективно накопичувати надлишкову енергію, вироблену протягом сонячного дня, та використовувати її вночі або під час

пікових навантажень, що підвищує загальну ефективність та стабільність роботи системи.

В системах накопичення енергії сонячних електростанцій основними типами акумуляторних батарей є свинцево-кислоті на літій-залізо-фосфатні (LiFePO4). Конструктивні особливості цих АКБ для СЕС дозволяють підлаштуватись під можливості та потреби користувача та підібрати найкраще рішення. Поряд з цим кожен тип має свої переваги та недоліки. Порівняння основних параметрів АКБ показало, що технологічно літієві батареї є більш перспективним та ефективнішим варіантом. Проте свинцево-кислотні АКБ є значно доступнішими і займають значне місце на світовому ринку акумуляторів.

Основні режими роботи АКБ визначаються сферою їх застосування та мають свої особливості експлуатації. Етапи заряду АКБ, включаючи основний етап, етап поглинання та етап підтримки ємності, є критично важливими для забезпечення оптимального функціонування та довговічності акумуляторів. Правильне дотримання режимів заряджання допомагає зберігати ресурс батарей, запобігає їх перегріву та деградації, що особливо важливо для забезпечення стабільного електропостачання від СЕС.

Загалом, вибір та експлуатація акумуляторних батарей у СЕС мають вирішальне значення для забезпечення ефективного та стабільного енергопостачання. Розуміння особливостей роботи та заряджання АКБ дозволяє забезпечити їх максимальну ефективність та тривалий термін служби, що є ключовим для успішної експлуатації сонячних електростанцій.

РОЗДІЛ 2
ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТА ОПИС ПАРАМЕТРІВ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДАВАЧІВ, ВИКОНАВЧИХ ПРИСТРОЇВ ТА МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО МОДУЛЯ

2.1 Принципова схема електронного модуля пристрою

Принципова схема електронного модуля пристрою зображена на рисунку 2.1.

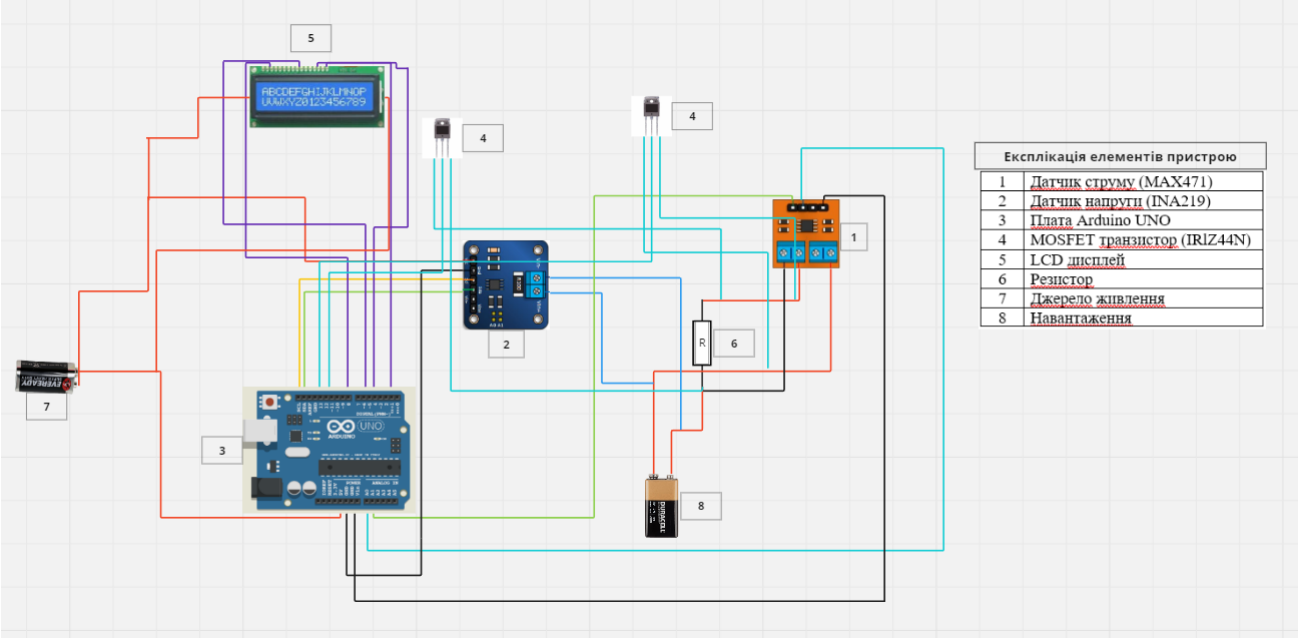


Рисунок 2.1 – Принципова схема електронного модуля пристрою

Датчик струму (MAX471) використовується для вимірювання сили струму, що споживається навантаженням від джерела живлення. Принцип вимірювання базується на контролі напруги, що знімається з прецизійного подільника напруги. Використовується мікросхема MAX471 з вбудованим вимірювальним шунтом. Датчик дозволяє отримувати точні дані про струм, який споживає система, що є важливим для оцінки ефективності та стану акумулятора.

Датчик напруги (INA219) реалізується як вольтметр . Модуль виконаний на мікросхемі INA219, яка має високу точність вимірювань та нульовий дрейф. Він дозволяє здійснювати моніторинг процесів заряду/розряду акумуляторних батарей та інших джерел живлення, забезпечуючи можливість контролю напруги та споживаного струму навантаженням.

Плата Arduino UNO виступає центральним мікроконтролером управління всіма компонентами системи. Вона отримує дані від датчиків струму та напруги, обробляє їх, а також керує MOSFET транзистором для контролю навантаження. Крім того, Arduino взаємодіє з LCD дисплеєм для відображення інформації в реальному часі. Arduino Uno забезпечує інтеграцію всіх компонентів і реалізацію алгоритмів керування системою.

MOSFET транзистор (IRlZ44N) фунціонує для керування електричними ланцюгами, витримує великі струми та може використовуватися як силовий ключ. Він дозволяє ефективно керувати навантаженням, забезпечуючи можливість вмикання та вимикання електричних пристроїв під контролем мікроконтролера Arduino. MOSFET транзистор забезпечує високу ефективність та надійність керування електричними ланцюгами.

LCD дисплей використовується для відображення інформації, зібраної системою, такої як значення напруги, струму та потужності. Це дозволяє користувачу спостерігати за станом системи та її параметрами в режимі реального часу. Відображення даних на дисплеї забезпечує зручність моніторингу та управління системою.

Резистор призначається для створення контрольованого навантаження в ланцюзі. Він допомагає розряджати акумулятор та забезпечує стабільне навантаження під час вимірювань. Резистор також допомагає уникнути повної розрядки батареї шляхом обмеження струму, що протікає через нього. Використання резистора забезпечує точність і безпеку під час тестування акумулятора.

Джерело живлення забезпечує необхідну електричну енергію для всіх компонентів системи. Воно є основою, від якої залежить робота всієї системи, живлячи як мікроконтролер, так і всі підключені датчики та виконавчі елементи. Надійне джерело живлення є критично важливим для стабільної та ефективної роботи системи.

Навантаження є кінцевим споживачем електричної енергії в системі. Це може бути будь-який пристрій або елемент, який споживає електроенергію

(наприклад, лампа або мотор), і керується через MOSFET транзистор. Навантаження дозволяє тестувати і контролювати вихідну потужність системи та перевіряти стан акумулятора. Управління навантаженням є ключовим елементом для оцінки продуктивності системи та її компонентів.

2.2 Спрощена структурна блок-схема модуля пристрою

2.2.1 Призначення елементів та з'єднань

Джерело живлення: Забезпечує необхідну електричну енергію для всіх компонентів системи. Стабільне живлення є ключовим для коректної роботи всіх інших елементів.

Сигнал: Постійна напруга (живлення) для всіх компонентів.

Плата Arduino Uno: Центральний мікроконтролер, який здійснює управління всіма компонентами системи. Плата Arduino Uno отримує дані від датчиків, обробляє їх і керує іншими компонентами системи на основі заданих алгоритмів. Це головний елемент, що забезпечує інтеграцію всіх інших модулів у єдину систему.

Сигнали:

- Живлення від джерела живлення.
- Аналоговий сигнал вимірювання струму від датчика струму.
- Цифровий двонаправлений сигнал (I2C) від датчика напруги.
- Керувальні сигнали до MOSFET транзисторів.
- Дані для відображення на LCD дисплеї.

Датчик струму (MAX471): Виконує вимірювання струму, що споживається навантаженням. Використовує принцип вимірювання напруги на прецизійному шунті для отримання точних даних про струм. Ці дані потім передаються на плату Arduino Uno у вигляді аналогового сигналу.

Сигнал: Аналоговий сигнал вимірювання струму.

Датчик напруги (INA219): Виконує вимірювання напруги і потужності. Підключається до плати Arduino Uno через I2C інтерфейс, який забезпечує

двонаправлений цифровий зв'язок. Це дозволяє не лише передавати виміряні дані, але й отримувати команди для налаштувань.

Сигнал: Цифровий двонаправлений сигнал (I2C) для передачі даних і отримання команд.

MOSFET транзистор 1 (IRLZ44N): Використовується для керування навантаженням. Отримує керувальні сигнали від плати Arduino Uno, що дозволяє включати або вимикати навантаження або резистор. Цей транзистор працює як електронний ключ, який забезпечує швидке та ефективне керування.

Сигнал: Керувальний сигнал від плати Arduino Uno.

MOSFET транзистор 2 (IRLZ44N): Використовується для додаткових функцій керування навантаженням. Подібно до першого транзистора, отримує керувальні сигнали від плати Arduino Uno, що дозволяє додатково керувати навантаженням або іншими компонентами системи.

Сигнал: Керувальний сигнал від плати Arduino Uno.

Резистор (R): Створює контрольоване навантаження у системі.

Сигнал: Керувальний сигнал від MOSFET транзистора для підключення або відключення резистора.

Навантаження: Кінцевий споживач електричної енергії в системі. Може бути представлений різними електричними пристроями або елементами, які споживають електроенергію. Навантаження підключається до системи через MOSFET транзистори.

Сигнал: Керувальний сигнал від MOSFET транзистора для підключення або відключення навантаження.

LCD дисплей: Виконує функцію відображення інформації, зібраної системою. Показує значення напруги, струму, потужності та інші дані в режимі реального часу. Підключений до плати Arduino Uno, що передає дані для відображення через цифровий сигнал.

Сигнал: Дані для відображення від плати Arduino Uno.

2.2.2 Опис з'єднань

Спрощена структурна блок-схема модуля пристрою зображена на рисунку 2.2.

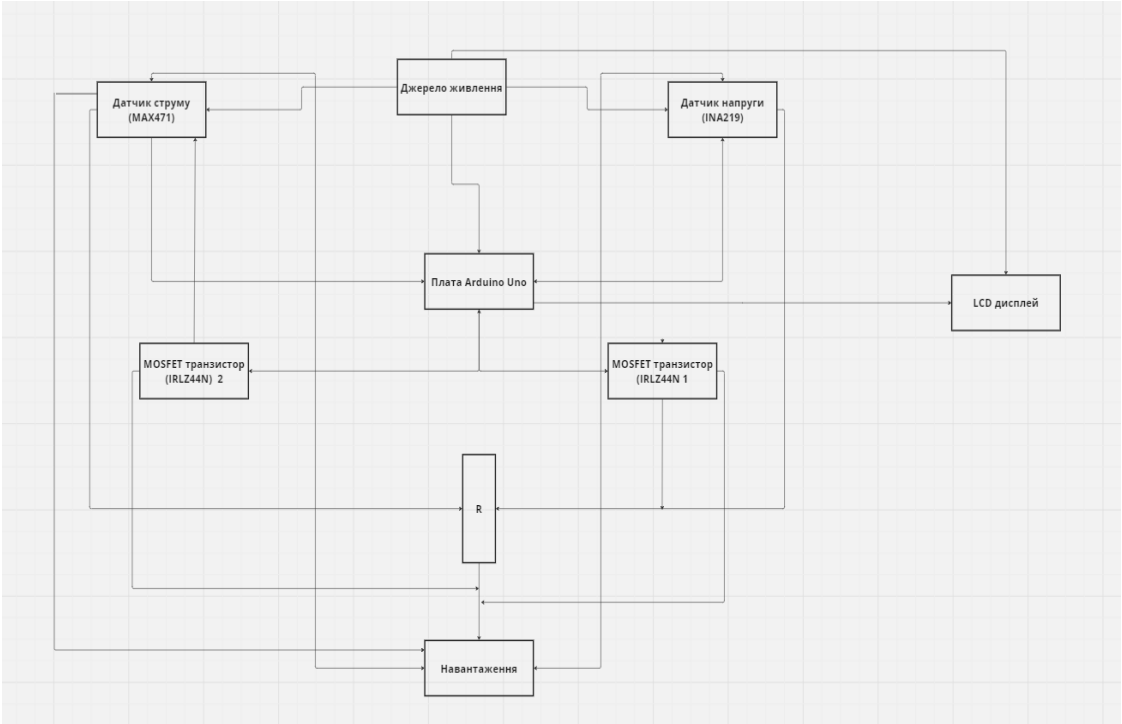


Рисунок 2.2 – Спрощена структурна блок-схема модуля пристрою

Джерело живлення —> Плата Arduino Uno: Забезпечує електроживлення плати Arduino Uno.

Джерело живлення —> Датчик струму (MAX471): Забезпечує електроживлення датчика струму.

Джерело живлення —> Датчик напруги (INA219): Забезпечує електроживлення датчика напруги.

Датчик струму (MAX471) —> Плата Arduino Uno: Передає дані про виміряний струм на плату Arduino Uno у вигляді аналогового сигналу.

Датчик напруги (INA219) <—> Плата Arduino Uno: Забезпечує двонаправлений цифровий зв'язок для передачі даних про напругу і потужність та отримання команд через I2C інтерфейс.

Плата Arduino Uno —> MOSFET транзистор 1 (IRLZ44N): Передає керувальні сигнали для керування навантаженням або резистором.

Плата Arduino Uno —> MOSFET транзистор 2 (IRLZ44N): Передає керувальні сигнали для додаткових функцій керування навантаженням.

MOSFET транзистор 1 (IRLZ44N) —> Навантаження: Керує підключенням або відключенням навантаження.

MOSFET транзистор 1 (IRLZ44N) —> Резистор (R): Керує підключенням або відключенням резистора.

MOSFET транзистор 2 (IRLZ44N) —> Навантаження: Додатковий канал для керування навантаженням.

Плата Arduino Uno —> LCD дисплей: Передає дані для відображення на дисплеї.

Ця спрощена структурна блок-схема представляє спрощений варіант системи для вимірювання електричної ємності та внутрішнього опору акумулятора. Центральний мікроконтролер (Arduino Uno) забезпечує інтеграцію та управління всіма компонентами системи, включаючи датчики струму і напруги, MOSFET транзистори, резистор та навантаження. Інформація, зібрана системою, відображається на LCD дисплеї, що дозволяє користувачам отримувати дані в режимі реального часу. Така схема дозволяє ефективно контролювати процеси заряджання та розряджання акумуляторів, а також проводити необхідні вимірювання для оцінки їх стану та продуктивності.

2.3 Основні компоненти пристрою

2.3.1 Датчик струму

Модуль аналогового типу для вимірювання сили струму споживаного навантаженням від джерела живлення. Принцип вимірювання заснований на контролі напруги, що знімається з прецизійного подільника напруги. Для вимірювання використовується мікросхема MAX471 з вбудованим вимірювальним шунтом. Даташит датчика наведено у додатку А.

Рисунок 2.3 – Загальний вигляд аналогового датчика струму і напруги з клемником [10]

Характеристики:

- Напруга живлення MAX471: від 3 до 36В;
- Вимірюваний струм: від 0А до 3А;
- Точність вимірювання струму: 2%;
- Напрямок вимірювання струму: в обидва напрямки;
- Струм: 100 мкА;
- Струм в режимі очікування: 18 мкА;
- Корпус MAX471: 8-вивідна SOIC;
- Розмір друкованої плати: 22x21x7 мм.

2.3.2 Датчик напруги

Цифровий датчик струму і напруги CJMCU-219 призначений для вимірювання таких параметрів постійного струму як напруга, струм і споживана потужність. Модуль виконаний на мікросхемі INA219- вимірювач струму та напруги з нульовим дрейфом і має малі розміри і масу при дуже великих можливостях та високій точності вимірювань. Даташит датчика наведено у додатку Б.

Рисунок 2.4 – Загальний вигляд цифрового датчика струму та напруги на INA219 з шиною I2C [11]

Застосувати модуль можна в системах, які контролюють процес заряду/розряду акумуляторних батарей, джерелах живлення з контролем напруги і споживаного навантаженням струму. Можливості зміни I2C адреси вимірювача дозволяють підключити на одну шину до 4-х таких пристроїв. Для збільшення точності вимірювань передбачений регістр калібрування.

Характеристики:

- Тип модуля: вимірювання електричного струму;
- Робоча температура: від -40С до 85С;
- Дрейф в робочому температурному діапазоні: 100мкВ;
- Максимальний вимірюваний струм: 3,2А;
- Точність вимірювання струму: 0,8мА;
- Роздільна здатність вимірювача: 12-біт;
- Інтерфейс: I2C;
- Швидкість інтерфейсу: 3,4МГц;
- Максимальна вимірювана напруга: + -26 В;
- Калібрування: калібрувальний регістр;
- Внутрішні дані: виміряний струм та потужність;
- Фільтрація: х128 відліків;
- Напруга живлення: від 3В до 5В.

2.3.3 Плата Arduino Uno

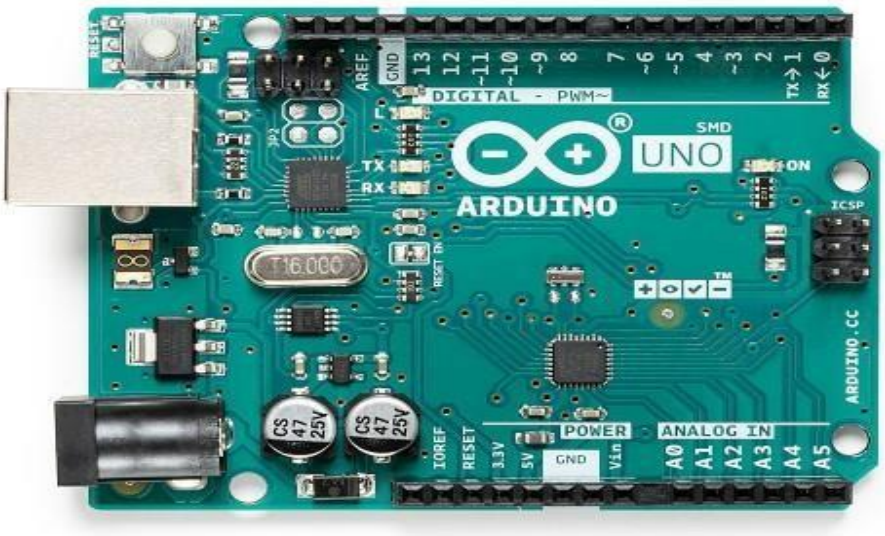


Рисунок 2.5 – Загальний вигляд плати Arduino Uno SMD Rev3 [12]

Оригінальний контролер Arduino Uno SMD Rev3 відрізняється від простого Arduino Uno використанням мікроконтролера ATmega328 в більш компактному і енергоємному SMD корпусі. Офіційна плата, виробництво - Італія. Arduino Uno SMD це нова версія популярної плати на базі мікроконтролера ATmega328. Вона має 14 цифрових входів/виходів (6 з них можна використовувати як ШІМ (PWM) виходи), 6 аналогових входів, процесор 16 МГц, роз'єм USB для програмування, роз'єм живлення, ICSP коннектор і кнопку reset.

Uno відрізняється від раніше випущених плат методом підключення до комп'ютера, замість мікросхеми FTDI "USB-послідовний порт", тепер, крім основного мікроконтролера ATmega328, на платі встановлений ще один - Atmega16U2 з програмною прошивкою конвертера "USB-послідовний порт". Ви можете перепрограмувати контролер Atmega16U2 так, щоб плата бачилася комп'ютером, також використання програмного конвертера на базі мікроконтролера Atmega8U2 дозволяє підвищити швидкість передачі даних. Даташит плати наведено у додатку В.

Характеристики:

- Мікроконтролер: ATmega328;

- Робоча напруга: 5В;
- Напруга живлення (рекомендована): 7-12В;
- Напруга живлення (гранична): 6-20В;
- Цифрові входи/виходи: 14 (6 з них можуть працювати в режимі ШІМ);
- Аналогові входи: 6;
- Сила струму на входах/виходах: 40Ма;
- Сила струму для виходу 3.3В: 50мА;
- Об’єм флеш пам’яті 32 кБ (з них 0.5кБ зайнято під бутлоадер);
- SRAM: 2кБ;
- EEPROM: 1кБ;
- Робоча частота: 16МГц;
- Розмір: 68 х 53 х 15 мм.

2.3.4 MOSFET транзистор

Рисунок 2.6 – Загальний вигляд силового польового транзистора IRLZ44N [13]

Силовий польовий транзистор IRLZ44N з ізольованим затвором та N-каналом. Використовується в схемах підсилення, витримує великі струми (до 47А) і може використовуватися як силовий ключ. Особливістю транзистора є низька напруга Затвор-Стік, необхідна для достатнього відкривання транзистора. Ця особливість дозволяє використовувати його без додаткових ключів з безпосереднім управлінням від логічних схем з напругою 5В.

Широковживаний MOSFET транзистор, виконаний в корпусі TO-220AB, при великих струмах кріпиться на радіатор. Між витоком і стоком є вбудований захисний діод. Опір «витік-стік» (у відкритому стані) 30 мОм, макс. розсіювана потужність 110 Вт, напруга пробою затвор-витік – 16В, заряд затвора – 48нКл,

макс.допустимий постійний струм стоку – 33А (при 100 град.С). Даташит транзистора наведено у додатку Г.

2.4 Розробка алгоритму роботи пристрою

2.4.1 Методи для вимірювання ємності акумулятора

Перший метод полягає у вимірюванні струму та напруги АКБ в процесі заряджання або заряджання. Обов’язковою умовою є повністю заряджений акумулятор. Отже, для початку потрібно підключити до акумулятора потужне навантаження. Наступним кроком є складання електричного кола з мультиметра, АКБ, навантаження та подання навантаження. Якщо навантаження, для прикладу лампа, не змінює своєї яскравості то знімаємо покази приладу в певні інтервали часу. Як тільки значення напруги на мультиметрі впаде нижче стандартної напруги батареї, почнеться її розряд. Тепер, знаючи проміжок часу, який потрібен був на повне спустошення запасу енергії і струм навантаження споживача, необхідно перемножити ці значення. Якщо отриманні значення відрязняються від паспортних даних АКБ у меншу сторону то потрібно замінити акумулятор. Недоліком цього методу є значні витрати часу. Для другого методу також потрібен повністю заряджений акумулятор. Використовуючи цей метод, відбувається розряд акумулятора через резистор. За допомогою секундоміра визначається час, витрачений на розряд. При цьому необхідно уникнути повної розрядки батареї, використовуючи, наприклад, спеціальне реле.

2.4.2 Метод для вимірювання внутрішнього опору акумулятора

Типовим методом для вимірювання внутрішнього опору батареї, як показали результати аналізу джерел інформації, є з'єднання батареї в ланцюзі з резистором, вимірювання напруги на батареї, розрахунок струму, вимірювання напруги через резистор, визначення падіння напруги та використання законів Кірхгофа для розрахунку внутрішнього опору.

2.4.3 Розробка алгоритму вимірювання ємності

Для вимірювання ємності потрібен повністю заряджений акумулятор. Під час вимірювання відбувається розряд акумулятора через резистор. За допомогою таймера визначається час, витрачений на розряд.

Алгоритм полягає у тому, що струм та напруга вимірюються за допомогою відповідних датчиків. Згідно з формулою (1.1) значення напруги та струму за одну секунду перемножуються та отримується значення потужності:

$$P = V \cdot I \tag{2.1}$$

Після вимірювань протягом однієї хвилини множимо значення потужності на 60 та отримуємо значення ємності акумулятора:

$$C_{ар} = P_{вим} \cdot t \tag{2.2}$$

Важливо, щоб значення напруги на акумуляторі не падала нижче допустимої (48В).

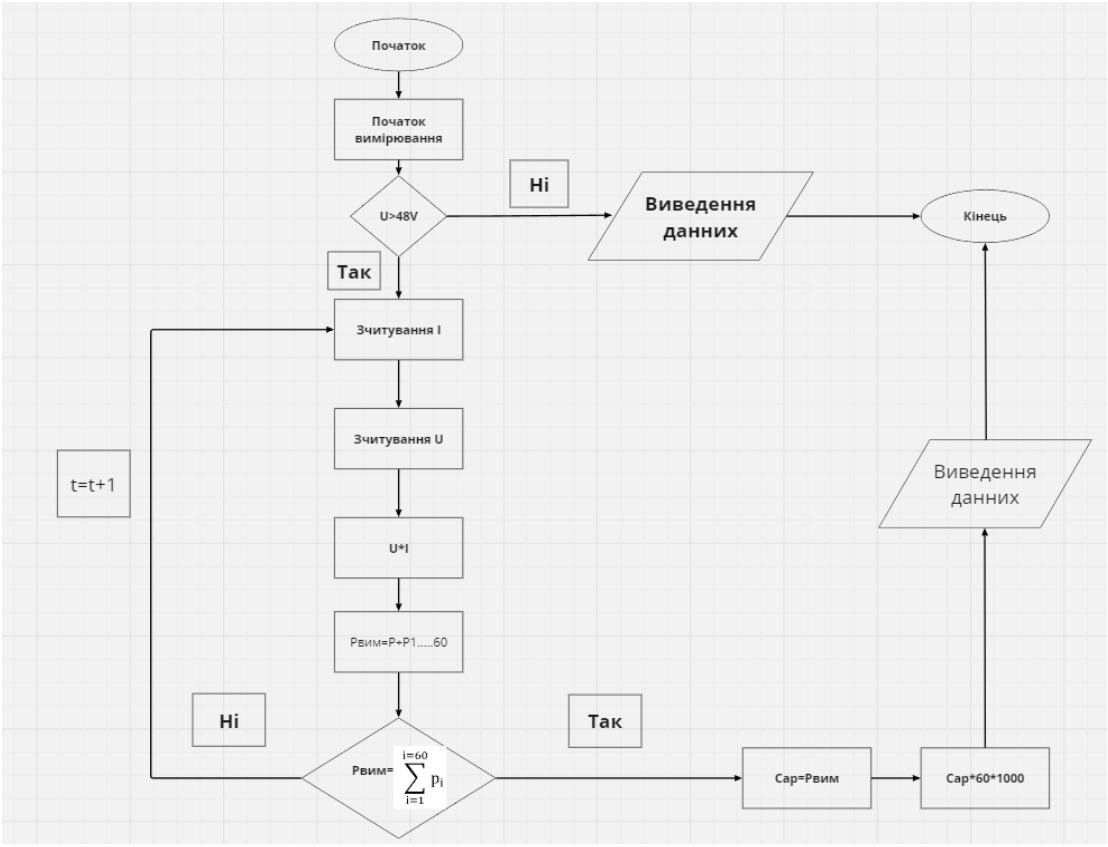


Рисунок 2.7 – Алгоритм вимірювання ємності Li-Po акумулятора

1. Початок вимірювання;

Якщо напруга на акумуляторі менша 48 В, то вимірювання неможливе

2. Зчитування величини струму через датчик струму;

3. Зчитування величини напруги через датчик напруги;

4. Розрахунок потужності;

$P_{вим}$ дорівнює сумі 60 вимірювань потужності.

Якщо $P_{вим}$ не дорівнює сумі 60 вимірювань потужності, вимірюємо напругу та струм з інтервалом в 1 секунду до того моменту, поки $P_{вим}$ буде дорівнювати $\sum_{i=1}^{i=60} P_i$.

Потужність за цей період часу дорівнює ємності акумулятора.

Помноживши ємність на 60 та 1000 отримуємо ємність акумулятора в мА·год.

2.4.4 Розробка алгоритму вимірювання внутрішнього опору

Для вимірювання внутрішнього опору також потрібний повністю заряджений акумулятор. Аналогічно як і з вимірюванням ємності, датчики струму та напруги вимірюють вихідні значення відповідних параметрів АКБ. У датчику струму, через який проходить струм, вбудований шунт з мінімальний опором. Після датчику струму встановлений резистор $R_н$ з відомим для нас опором. Для вимірювання внутрішнього опору потрібно дізнатися значення струму на датчику та значення напруги на датчику, після чого поділити значення напруги на значення струму (отримуємо опір усього кола) і відняти суму опорів на вбудованому шунті датчика струму та встановленому резисторі $R_н$.

$$R_{внутр} = U / I – (R_ш + R_н) \quad (2.3)$$

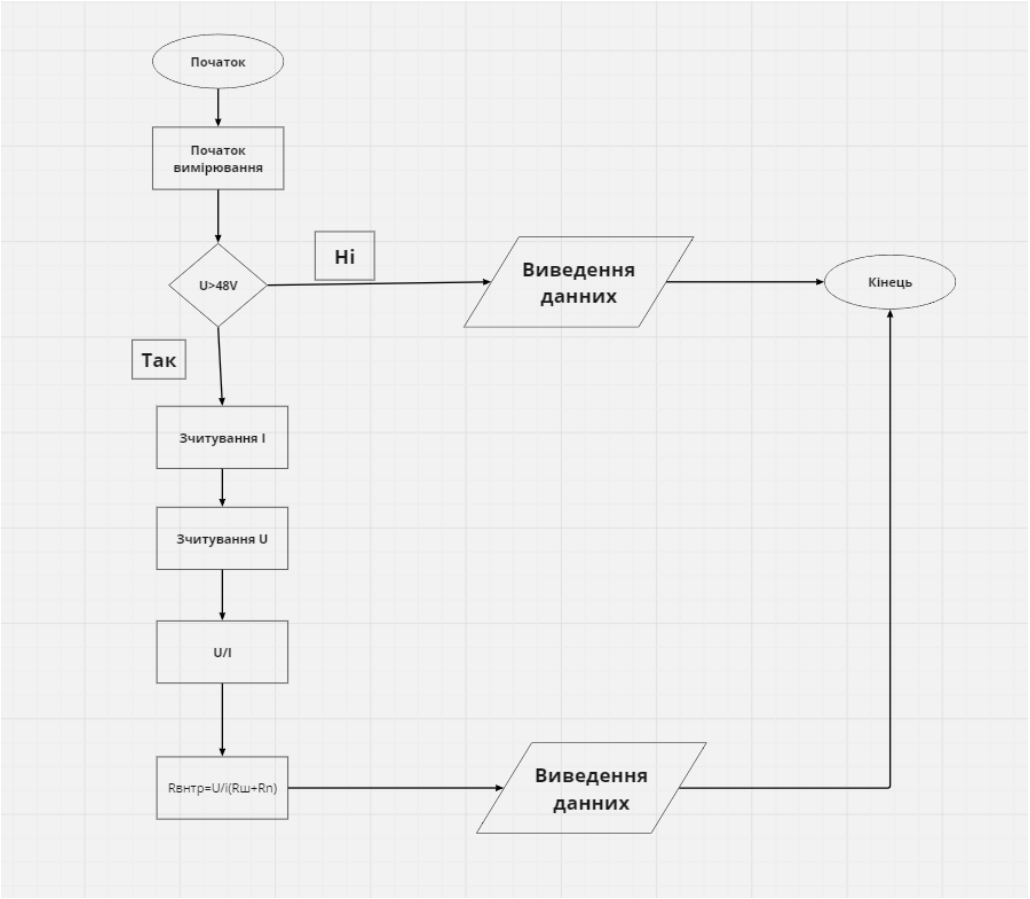


Рисунок 2.8 – Алгоритм вимірювання внутрішнього опору Li-Po акумулятора

1. Початок вимірювання;
2. Якщо напруга на акумуляторі менша 48 В, то вимірювання неможливе;
3. Зчитування величини струму через датчик струму;
4. Зчитування величини напруги через датчик напруги;
5. Розрахунок навантаження на колі;
6. Розрахунок внутрішнього опору акумулятора.

2.5 Опис програмного забезпечення модуля мікроконтролера на базі Arduino

Для вимірювання ємності та внутрішнього опору акумулятора використовується програмне забезпечення, яке базується на платі Arduino Uno. У цьому програмному забезпеченні використовуються бібліотеки LiquidCrystal_I2C.h та Wire.h. Програмне забезпечення наведено у додатку Д.

Використані бібліотеки:

1) Wire.h: Бібліотека використовується для зв'язку мікроконтролера з пристроями і модулями через інтерфейс I2C. Вона забезпечує можливість двонаправленого цифрового зв'язку між мікроконтролером і периферійними пристроями, такими як датчики напруги або струму.

2) LiquidCrystal_I2C.h: Бібліотека дозволяє керувати LCD дисплеєм, підключеним через I2C інтерфейс. Вона забезпечує функції для ініціалізації дисплея, встановлення курсора, виведення тексту та керування підсвіткою дисплея.

Основні команди бібліотеки LiquidCrystal_I2C.h:

- LiquidCrystal(адреса, колонки, рядки): Створює змінну типу LiquidCrystal і приймає параметри підключення дисплея, такі як I2C адреса, кількість колонок та рядків.
- setCursor(колонка, рядок): Встановлює курсор на задану позицію.
- print(текст): Виводить текст на LCD екран.
- display(): Включає дисплей.

2.5.1 Опис програми роботи модуля мікроконтролера

Програма для вимірювання ємності та внутрішнього опору акумулятора складається з кількох функцій, які забезпечують виконання основних завдань.

1. Імпорт необхідних бібліотек:

   #include <Wire.h>

   #include <LiquidCrystal_I2C.h>

2. Ініціалізація дисплея на адресі 0x27 з розміром 16x2:

   LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

3. Визначення пінів для датчиків струму та напруги:

   const int currentSensorPin = A0; // Датчик струму підключений до аналогового входу A0

   const int voltageSensorPin = A1; // Датчик напруги підключений до аналогового входу A1

4. Визначення констант:

```
const float voltageThreshold = 48; // Поріг напруги
const float shuntResistor = 0.01; // Опір шунта в Ом
const float knownResistor = 10.0; // Відомий опір в Ом
```

5. Функція setup()

Ініціалізація серійного зв'язку та дисплея:

```
void setup() {
Serial.begin(9600);
lcd.begin();
lcd.backlight();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Battery Test");
delay(2000); // Пауза для відображення початкового повідомлення
}
```

6. Функція loop()

Основний цикл програми, який виконує вимірювання ємності та внутрішнього опору:

```
void loop() {
// Початок вимірювання ємності
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Measuring Cap...");
// Перевірка напруги акумулятора
float voltage = readVoltage();
if (voltage < voltageThreshold) {
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Voltage < 48V");
while (1); // Зупинка програми
}
// Вимірювання ємності
```

```
float capacity = measureCapacity();
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Cap: ");
lcd.print(capacity);
lcd.print(" mAh");
delay(5000); // Затримка перед наступним вимірюванням
// Початок вимірювання внутрішнього опору
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Measuring R...");
// Перевірка напруги акумулятора
voltage = readVoltage();
if (voltage < voltageThreshold) {
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Voltage < 48V");
while (1); // Зупинка програми
}
// Вимірювання внутрішнього опору
float internalResistance = measureInternalResistance();
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("R: ");
lcd.print(internalResistance);
lcd.print(" Ohm");
delay(5000); // Затримка перед наступним вимірюванням
}
```

7. Функція для зчитування напруги:

```
float readVoltage() {
int sensorValue = analogRead(voltageSensorPin);
float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0); // Перетворення значення вольт
return voltage;
```

```
}
```

8. Функція для зчитування струму:

```
float readCurrent() {
int sensorValue = analogRead(currentSensorPin);
float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0); // Перетворення значення вольт
float current = voltage / shuntResistor; // Обчислення струму в Амперах
return current;
}
```

9. Функція для вимірювання ємності:

```
float measureCapacity() {
float totalPower = 0;
for (int i = 0; i < 60; i++) {
float voltage = readVoltage();
float current = readCurrent();
float power = voltage * current; // Потужність
totalPower += power;
delay(1000); // Затримка 1 секунда
}
float capacity = totalPower * 60 * 1000; // Ємність в мА/год
return capacity;
}
```

10. Функція для вимірювання внутрішнього опору:

```
float measureInternalResistance() {
float current = readCurrent();
float voltage = readVoltage();
float totalResistance = voltage / current; // Загальний опір
float internalResistance = totalResistance - (shuntResistor + knownResistor); //
Внутрішній опір
return internalResistance;
}
```

2.6 Висновок до розділу 2

У розділі 2 було обґрунтовано вибір апаратного забезпечення для розробки мікроконтролного модуля, призначеного для вимірювання електричної ємності та внутрішнього опору LiPo акумуляторів. Було детально розглянуто параметри давачів струму і напруги, вибір мікроконтролера на базі Arduino та силових транзисторів. Також було розроблено схему електронного модуля пристрою.

На основі проведених досліджень та аналізу було створено алгоритми для вимірювання ємності та внутрішнього опору акумуляторів, що дозволяють забезпечити точні та надійні вимірювання. Розроблене програмне забезпечення для мікроконтролера реалізує функції вимірювання та обробки даних, а також відображення результатів на LCD дисплеї.

Розробка цього модуля є важливим кроком до автоматизації процесу моніторингу стану LiPo акумуляторів, що підвищить ефективність їх використання в фотоелектричних електростанціях та забезпечить стабільне і надійне енергопостачання.

РОЗДІЛ 3
ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИМІРЮВАНЬ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ АКБ ТА РОЗРАХУНОК ПОХИБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРІВ МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО МОДУЛЯ

Для дослідження основних параметрів АКБ доцільно обрати конкретний приклад акумуляторної батареї для детального аналізу її основних параметрів. В нашому випадку об’єктом дослідження є АКБ від компанії Tesla – Tesla Powerwall 2.0. Загальний вигляд даної моделі зображений на рисунку 3.1.

Рисунок 3.1 – Загальний вигляд АКБ Tesla Powerwall 2.0 [14]

Акумуляторна батарея Tesla Powerwall 2.0 є доцільним об'єктом для проведення досліджень з кількох важливих причин. Завдяки сучасним технологіям управління зарядом і розрядом, цей акумулятор забезпечує стабільні та точні параметри, що дозволяє отримувати надійні результати вимірювань. Універсальність Tesla Powerwall 2.0, зумовлена сумісністю з різноманітними фотоелектричними системами, дозволяє застосовувати результати досліджень для широкого спектру реальних умов експлуатації.

Використання новітніх технологій у цьому акумуляторі дає можливість досліджувати найсучасніші методи зберігання та управління енергією, що є актуальним для інноваційних рішень у галузі відновлюваної енергетики. Висока надійність і довговічність Tesla Powerwall 2.0 забезпечують стабільність

експериментальних умов протягом усього періоду досліджень, що є критично важливим для отримання достовірних даних.

Крім того, репутація Tesla як одного з провідних виробників у галузі відновлюваної енергетики додає впевненості у якості та надійності їх продукції. Це дозволяє отримати високоякісні дані та провести глибокий аналіз параметрів акумуляторів, що сприятиме подальшому розвитку і вдосконаленню технологій у сфері зберігання енергії. Даташит АКБ наведений у додатку Е

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики АКБ Tesla Powerwall 2.0

Параметр	Значення
Ємність	13,5 кВт·год
Напруга	350-450 В
Максимальна потужність	5 кВт
Максимальний струм	13,5 А

3.1 Вимірювання параметрів АКБ

Для вимірювання ємності, напруги, струму, внутрішнього опору та потужності використовувався мультиметр з високою точністю. Вимірювання проводились кожну секунду протягом 60 секунд.

Вимірювання за допомогою мультиметра:

Для безперервного фіксування результатів вимірювань мультиметром UNI-T UT61E з інтерфейсом підключення до комп'ютера через USB, спочатку мультиметр підключається до комп'ютера за допомогою відповідного кабелю. Після цього встановлюється спеціальне програмне забезпечення, що постачається з мультиметром. У програмному забезпеченні налаштовуються вимірювання з інтервалом в 1 секунду. Після налаштування, запускається програма для фіксації даних в режимі реального часу, що дозволяє безперервно отримувати та записувати результати вимірювань. Даташит мультиметра наведений у додатку Ж.

Рисунок 3.2 – Загальний вигляд цифрового мультиметра UNI-T UT61E + [15]

Функціональні можливості вимірювання:

- Постійний та змінний струм;
- Постійна та змінна напруг;
- Опір;
- Ємність;
- Частота.

Технічні характеристики:

- Постійна напруга: 220 мВ ± (0.1% + 5) / 2.2 В / 22 В / 220 В ± (0.05% + 5) / 000 В ± (0.1% + 5);
- Змінна напруга: 220 мВ ± (1.5% + 30)/ 2.2 В ± (1.2% + 50)/ 22 В ± (1.2% + 50)/ 220 В ± (2.0% + 50) / 1000 В ± (3.0% + 50);
- Постійний струм: 220 мкА / 2200 мкА / 22 мА / 220 мА ± (0.5% + 10) / 20 А ± (1.2% + 50);
- Змінний струм: 220 мкА / 2200 мкА / 22 мА / 220 мА / 20 А ± (3% + 50);
- Опір: 220 Ом / 2.2 кОм / 22 кОм / 220 кОм ± (0.5 + 10)/2.2 МОм ± (0.8 + 10)/ 22 МОм ± (1.5% + 10)/ 220 МОм ± (3.0% + 50);
- Ємність: 22 нФ / 220 нФ / 2.2 мкФ / 22 мкФ ± (3.0% + 5)/220 мкФ / 2.2 мФ ± (4.0% + 5)/ 22 мФ ± (10% + 5)/220 мФ ± (20% + 5);
- Частота: 10 Гц 220 МГц ± (0.01% + 5).

Вимірювання за допомогою модуля на базі Arduino:

Модуль на базі Arduino був налаштований для вимірювання тих самих показників з інтервалом в 1 секунду протягом 60 секунд.

Таблиця 3.2 – Вимірювання мультиметром

Час t, с	Струм I, А	Напруга U, В	Внутрішній опір R, Ом	Ємність E, мА·год	Потужність P, Вт
1,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
2,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
3,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
4,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
5,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
6,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
7,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
8,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
9,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
10,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
11,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
12,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
13,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
14,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
15,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
16,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
17,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
18,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
19,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
20,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
21,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
22,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
23,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
24,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
25,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
26,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
27,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
28,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
29,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
30,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
31,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
32,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
33,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
34,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
35,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
36,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
37,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
38,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
39,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0

Продовження таблиці 3.2.

40,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
41,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
42,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
43,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
44,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
45,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
46,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
47,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
48,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
49,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
50,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
51,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
52,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
53,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
54,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
55,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
56,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
57,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
58,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0
59,0	13,4	400,0	0,029	13500,0	5360,0
60,0	13,3	399,0	0,03	13485,0	5307,0

Таблиця 3.3 –Вимірювання модулем на базі Arduino

Час t, с	Струм I, А	Напруга U, В	Внутрішній опір R, Ом	Ємність E, мА·год	Потужність P, Вт
1,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
2,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
3,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
4,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
5,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
6,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
7,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
8,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
9,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
10,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
11,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
12,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
13,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
14,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
15,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
16,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
17,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
18,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
19,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0

Продовження таблиці 3.3

20,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
21,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
22,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
23,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
24,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
25,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
26,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
27,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
28,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
29,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
30,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
31,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
32,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
33,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
34,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
35,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
36,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
37,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
38,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
39,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
40,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
41,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
42,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
43,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
44,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
45,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
46,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
47,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
48,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
49,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
50,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
51,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
52,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
53,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
54,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
55,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
56,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
57,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
58,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0
59,0	13,2	398,0	0,029	13450,0	5253,0
60,0	13,1	397,0	0,031	13430,0	5204,0

3.2 Опрацювання та аналіз порівняльних результатів вимірювань параметрів АКБ

Похибки результатів вимірювання контролером визначалися шляхом порівняння середніх значень вимірювань, отриманих за допомогою мультиметра та модуля на базі Arduino, протягом 60 секунд, та обчислення відносної похибки для кожного показника.

Обчислення середніх значень:

Для кожного показника (струм, напруга, внутрішній опір, ємність, потужність) обчислювали середні значення результатів вимірювань за допомогою мультиметра та модуля Arduino протягом 60 секунд.

Обчислення відносної похибки:

Відносну похибку обчислювали за формулою:

$$\delta = | X_{\text{модуль}} - X_{\text{мульт}} | / X_{\text{мульт}} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

де $X_{\text{мульт}}$ – середнє значення показника, виміряного мультиметром, а $X_{\text{модуль}}$ – середнє значення показника, вимірюваного модулем Arduino.

Порівняння результатів:

Обчислені відносні похибки для кожного показника порівнювали з допустими значеннями, щоб оцінити точність вимірювань модуля на базі Arduino.

Приклад розрахунку:

Для струму I:

- Середнє значення вимірювань мультиметром: 13,35 А;
- Середнє значення вимірювань модулем: 13,15 А;
- Відносна похибка:

$$\delta_{\text{струм}} = | 13{,}15 - 13{,}35 | / 13{,}35 \cdot 100\% = 1{,}498\ (\%) \quad (3.2)$$

Для напруги U:

- Середнє значення вимірювань мультиметром: 399,5 В;
- Середнє значення вимірювань модулем: 397,5 В;
- Відносна похибка:

$$\delta_{\text{напруга}} = | 397,5 – 399,5 | / 399,5 \cdot 100\% = 0,501\ (\%) \quad (3.3)$$

Для внутрішнього опору R:

- Середнє значення вимірювань мультиметром: 0,029 Ом;
- Середнє значення вимірювань модулем: 0,03 Ом;
- Відносна похибка:

$$\delta_{\text{внутр.опір}} = | 0,03 – 0,029 | / 0,029 \cdot 100\% = 3,448\ (\%) \quad (3.4)$$

Для ємності E:

- Середнє значення вимірювань мультиметром: 13492,5 мА·год;
- Середнє значення вимірювань модулем: 13440 мА·год;
- Відносна похибка:

$$\delta_{\text{ємність}} = | 13440 – 13492,5 | / 13492,5 \cdot 100\% = 0,389\ (\%) \quad (3.5)$$

Для потужності P:

- Середнє значення вимірювань мультиметром: 5333,5 Вт;
- Середнє значення вимірювань модулем: 5228,5 Вт;
- Відносна похибка:

$$\delta_{\text{потужність}} = | 5228,5 – 5333,5 | / 5333,5 \cdot 100\% = 1,969\ (\%) \quad (3.5)$$

Таблиця 3.4 – Порівняльна таблиця вимірювань та розрахунок похибки

Параметр	Мультиметр (Середнє)	Модуль (Середнє)	Відносна похибка δ, %
Струм I, A	13,35	13,15	1,498
Напруга U, B	399,5	397,5	0,501
Внутрішній опір R, Ом	0,029	0,03	3,448
Ємність E, мА·год	13492,5	13440,0	0,389
Потужність P, Вт	5333,5	5228,5	1,969

Для аналізу результатів були використані середні значення вимірювань кожного показника за допомогою мультиметра та модуля на базі Arduino.

Похибка вимірювання:

- Струм: похибка не перевищує 1,5%
- Напруга: похибка не перевищує 0,501%
- Внутрішній опір: похибка не перевищує 3,45%
- Ємність: похибка не перевищує 0,39%
- Потужність: похибка не перевищує 1,97%

Отримані результати показують, що модуль на базі Arduino забезпечує високу точність вимірювань для всіх основних параметрів (струм, напруга, внутрішній опір, ємність та потужність). Найбільша похибка спостерігається при вимірюванні внутрішнього опору, але навіть вона залишається в межах прийнятного для багатьох практичних застосувань. Таким чином, розроблений мікроконтролерний модуль можна використовувати для точного визначення електричних параметрів LiPo акумуляторів у фотоелектричних електростанціях.

3.3 Висновок до розділу 3

У розділі 3 було проведено порівняльну характеристику вимірювань основних параметрів акб та розрахунок похибки результатів вимірів мікроконтролерного модуля. Виконані експериментальні вимірювання параметрів акумуляторних батарей за допомогою мультиметра та модуля на базі Arduino показали високу точність та надійність останнього.

Результати вимірювань та проведений аналіз похибок демонструють, що розроблений мікроконтролерний модуль здатен точно вимірювати електричну ємність та внутрішній опір LiPo акумуляторів.

Таким чином, розроблений мікроконтролерний модуль є практичним та ефективним інструментом для моніторингу стану LiPo акумуляторів, що дозволить підвищити надійність і довговічність їх роботи у складі фотоелектричних електростанцій.

ВИСНОВКИ

У цій бакалаврській роботі було виконано ряд завдань, спрямованих на розробку мікроконтролерного модуля для визначення електричної ємності та внутрішнього опору LiPo акумуляторів у фотоелектричних електростанціях.

По-перше, обґрунтовано вибір та описано параметри апаратного забезпечення давачів, виконавчих пристроїв та мікроконтролерного модуля, використовуючи високоточні датчики струму та напруги, плату Arduino Uno і MOSFET транзистори.

По-друге, розроблено схему електронного модуля пристрою, що включає всі необхідні компоненти для забезпечення коректного функціонування модуля та стабільності вимірювань.

По-третє, створено алгоритм роботи пристрою, що базується на методах вимірювання ємності та внутрішнього опору акумулятора. Алгоритм забезпечує автоматичне виконання вимірювань з високою точністю.

Наступним кроком стало розроблення програми для реалізації алгоритму на базі Arduino, що автоматизує процес вимірювань та знижує можливість помилок.

Після цього проведено верифікацію модуля, включаючи вимірювання основних параметрів акумуляторних батарей, що підтвердило його високу точність та придатність для практичного використання.

Нарешті, проаналізовано результати тестування, визначено похибки вимірювань та здійснено коригування алгоритму, що підвищило точність та надійність вимірювань.

Таким чином, виконані завдання дозволили створити ефективний і надійний мікроконтролерний модуль для вимірювання параметрів LiPo акумуляторів, який може бути впроваджений у виробництво фотоелектричних систем.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Сонячні електростанції [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://solarmax.com.ua/pvsolar/

2. Типи сонячних електростанцій [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.atmosfera.ua/media/tipi-sonyachnih-elektrostancij

3. Лило І.В., Гліба Д.М. Порівняльний аналіз техніко-економічних характеристик акб при їх використанні в різних схемах електропостачання / Енергетика. Екологія. Людина. Зб. наукових праць ІЕЕ, КПІ імені Ігоря Сікорського – Київ: ІЕЕ, 2019. – С. 59-64.

4. Кислотні акумулятори [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://corelamps.com/dzherela-zhyvlennia/kyslotni-akumuliatory/

5. Свинцево-кислотний акумулятор [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Свинцево-кислотний_акумулятор

6. Шило Н. Ю. AGM-акумулятори і способи їх заряджання в буферному і циклічному режимі / Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті : матеріали 23 Міжнар. молодіж. форуму, 16–18 квітня 2019 р. – Харків : ХНУРЕ, 2019. – Т. 2. – С. 55-56.

7. Поширені типи акумуляторів, які найчастіше використовуються для накопичення електроенергії акумулятор [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://sun-energy.com.ua/articles/typy-akumulyatoriv

8. Як правильно заряджати акумулятор? акумулятор [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://logicpower.ua/ua/blog/kak-pravilno-zaryazhat-akkumulyator

9. Всебічне розуміння життєвого циклу літій-іонної батареї [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://cmbatteries.com/uk/повне-розуміння-життєвого-циклу-літій-іонного-акумулятора/

10. Датчик струму MAX471 аналоговий з клемником [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://arduino.ua/prod4147-datchik-toka-i-napryajeniya-analogovii-s-klemmnikom

11. Цифровий датчик струму та напруги на INA219 з шиною I2C [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://arduino.ua/prod1661-cifrovoi-datchik-toka-i-napryajeniya-na-ina219-s-shinoi-i2c

12. Arduino Uno SMD Rev3 A000073 I2C [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://arduino.ua/prod174-arduino-uno-smd-rev3-a000073

13. Силовий польовий транзистор IRLZ44N [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://arduino.ua/prod3107-silovoi-polevoi-tranzistor-irlz44n

14. Система зберігання енергії Tesla Powerwall 2.0 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://e-energy.in.ua/Energy_storage_systems/sistema-hraneniya-energii-tesla-powerwall-2-0.html

15. Цифровий мультиметр UNI-T UT61E + [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://radio-shop.com.ua/uk/cifrovij-multimetr-uni-t-ut61e?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwvb-zBhCmARIsAAfUI2u7kHQGrTmERCbbHeoTiUNoDG1-hJOojSZu98OXsW2frrYVNKTl5zQaAjGtEALw_wcB

ДОДАТОК А

Даташит аналового датчика струму і напруги з клемником MAX471

MAXIM

Precision, High-Side Current-Sense Amplifiers

General Description

The MAX471/MAX472 are complete, bidirectional, highside current-sense amplifiers for portable PCs, telephones, and other systems where battery/DC power-line monitoring is critical. High-side power-line monitoring is especially useful in battery-powered systems, since it does not interfere with the ground paths of the battery chargers or monitors often found in “smart” batteries.

The MAX471 has an internal 35mΩ current-sense resistor and measures battery currents up to ±3A. For applications requiring higher current or increased flexibility, the MAX472 functions with external sense and gain-setting resistors. Both devices have a current output that can be converted to a ground-referred voltage with a single resistor, allowing a wide range of battery voltages and currents.

An open-collector SIGN output indicates current-flow direction, so the user can monitor whether a battery is being charged or discharged. Both devices operate from 3V to 36V, draw less than 100µA over temperature, and include a 18µA max shutdown mode.

Applications

Portable PCs:
Notebooks/Subnotebooks/Palmtops
Smart Battery Packs
Cellular Phones
Portable Phones
Portable Test/Measurement Systems
Battery-Operated Systems

Features

- **Complete High-Side Current Sensing**
- **Precision Internal Sense Resistor (MAX471)**
- **2% Accuracy Over Temperature**
- **Monitors Both Charge and Discharge**
- **3A Sense Capability with Internal Sense Resistor (MAX471)**
- **Higher Current-Sense Capability with External Sense Resistor (MAX472)**
- **100µA Max Supply**

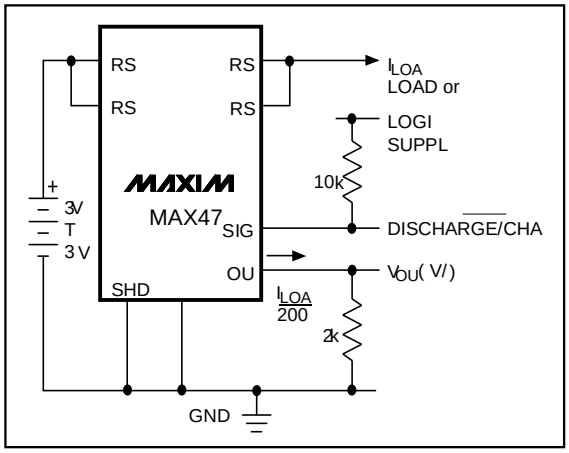
Current ♦ 18µA Max

Shutdown Mode

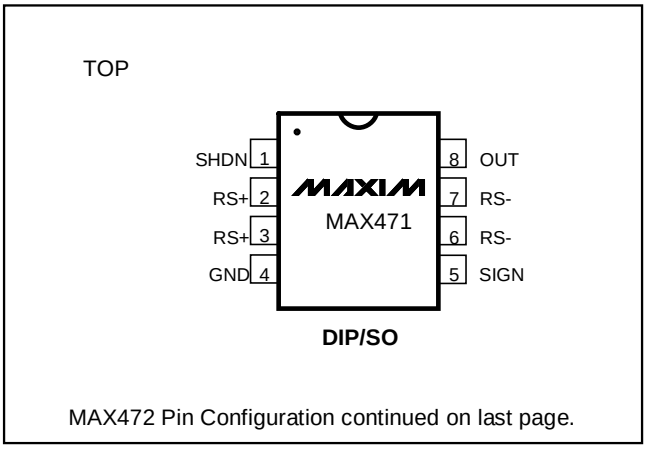
Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX471CPA	0°C to +70°C	8 Plastic DIP
MAX471CSA	0°C to +70°C	8 SO
MAX471EPA	-40°C to +85°C	8 Plastic DIP
MAX471ESA	-40°C to +85°C	8 SO
MAX472CPA	0°C to +70°C	8 Plastic DIP
MAX472CSA	0°C to +70°C	8 SO
MAX472EPA	-40°C to +85°C	8 Plastic DIP
MAX472ESA	-40°C to +85°C	8 SO

____Typical Operating Circuit



_____Pin Configurations



MAX472 Pin Configuration continued on last page.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage, RS+, RS-, VCC to GND.....-0.3V, +40V
RMS Current, RS+ to RS- (MAX471 only).....±3.3A
Peak Current, (RS+ to RS-) .....see Figure 5
Differential Input Voltage, RG1 to RG2 (MAX472 only) .....±0.3V
Voltage at Any Pin Except SIGN
MAX471 only.....-0.3V to (RS+ - 0.3V)
MAX472 only .....-0.3V to (VCC + 0.3V)
Voltage at SIGN.....-0.3V to +40V
Current into SHDN, GND, OUT, RG1, RG2, VCC.....±50mA
Current into SIGN.....+10mA, -50mA
Continuous Power Dissipation (TA = +70°C)
MAX471 (Note 1):
Plastic DIP (derate 17.5mW/°C above +70°C) 1.4W
SO (derate 9.9mW/°C above +70°C).....791mW
MAX472 :
Plastic DIP (derate 9.09mW/°C above +70°C) 727mW
SO (derate 5.88mW/°C above +70°C).....471mW

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX471

(RS+ = +3V to +36V, TA = TMIN to TMAX, unless otherwise noted. Typical values are at TA = +25°C.)

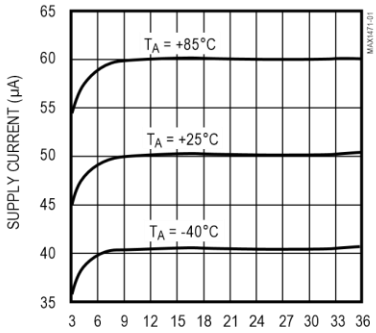
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	VRS+			3		36	V
Supply Current	IRS+	ILOAD = 0A, excludes ISIGN			50	113	µA
Sense Current	ILOAD					±3	ARMS
Sense Resistor	RSENSE				35	70	mΩ
Current-Sense Ratio			MAX471C	0.490	0.500	0.510	mA/A

	IOUT/ ILOAD	ILOAD = 1A, RS+ = 10V	MAX471E	0.4875	0.500	0.5125	
No-Load OUT Error		ILOAD = 0A, RS+ = 10V	MAX471C			2.5	µA
			MAX471E			3.0	
Low-Level OUT Error		ILOAD = 30mA, RS+ = 10V	MAX471C			±2.5	µA
			MAX471E			±3.0	
Power-Supply Rejection Ratio	PSRR	3V ≤ RS+ ≤ 36V, ILOAD = 1A				0.1	%/V
SIGN Threshold (ILOAD required to switch SIGN)		MAX471C			±4.0	±6.0	mA
		MAX471E				±7.0	
SIGN Output Leakage Current		VSIGN = 36V				1.0	µA
SIGN Sink Current	IOL	VSIGN = 0.3V		0.1			mA
Shutdown Supply Current	IRS+(SHDN)	VSHDN = 2.4V; VCC = 3V to 20V			1.5	18.0	µA
SHDN Input Low Voltage	VIL					0.3	V
SHDN Input Low Current	IIL	VSHDN = 0V				1.0	µA
SHDN Input High Voltage	VIH			2.4			V
SHDN Input High Current	IIH	VSHDN = 2.4V				1.0	µA
OUT Output Voltage Range	VOUT			0	VRS+ - 1.5		V
OUT Output Resistance	ROUT	ILOAD = 3.0A, VOUT = 0V to (VRS+ - 1.5V)		1	3		MΩ
OUT Rise, Fall Time	tR, tF	ILOAD = 50mA to 3.0A, ROUT = 2kΩ, COUT = 50pF, 10% to 90%			4		µs
OUT Settling Time to 1% of Final Value	ts	ILOAD = 100mA to 3.0A, ROUT = 2kΩ, COUT = 50pF			15		µs

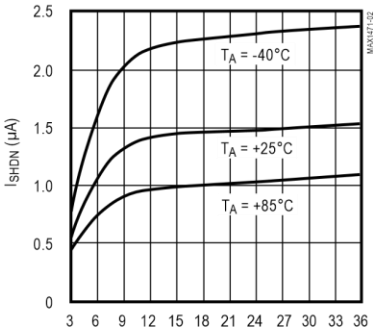
Typical Operating Characteristics

(Typical Operating Circuit (MAX471) or circuit of Figure 4, RG1 = RG2 = 200Ω, R_{OUT} = 2kΩ (MAX472), T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

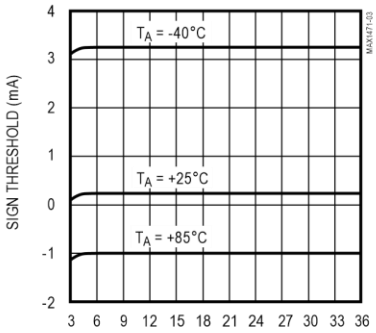
SUPPLY CURRENT vs. SUPPLY VOLTAGE



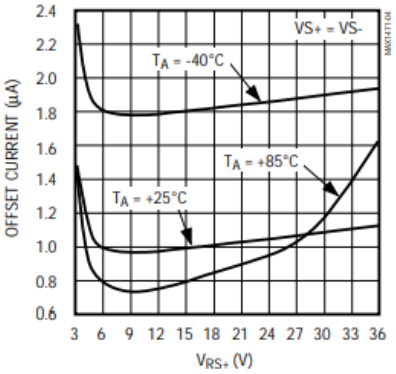
SHUTDOWN CURRENT vs. SUPPLY VOLTAGE



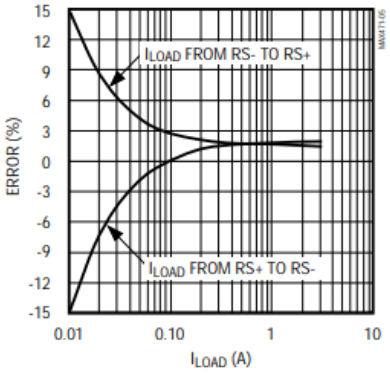
SIGN THRESHOLD vs. SUPPLY VOLTAGE



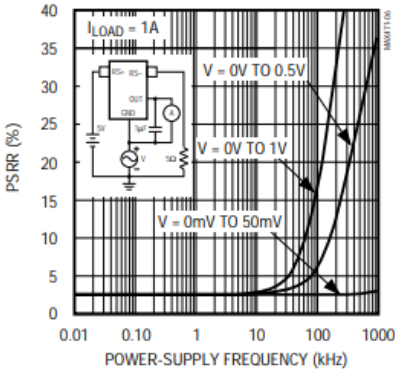
MAX471 NO-LOAD OFFSET CURRENT vs. SUPPLY VOLTAGE



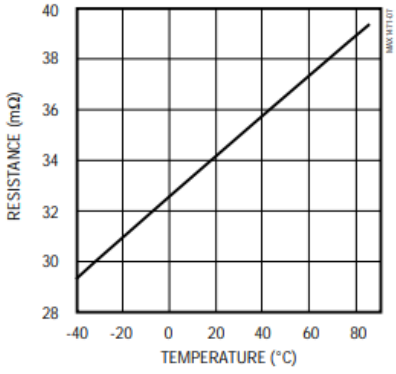
MAX471 ERROR vs. LOAD CURRENT



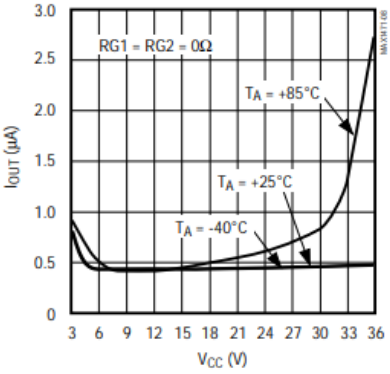
MAX471 POWER-SUPPLY REJECTION RATIO vs. FREQUENCY



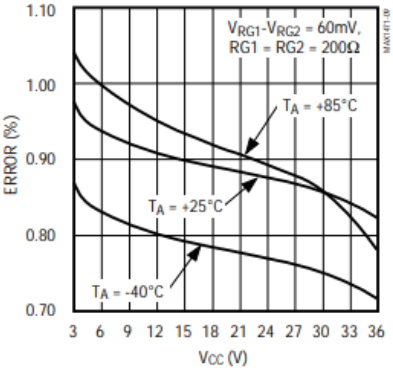
MAX471 RS+ TO RS- RESISTANCE vs. TEMPERATURE



MAX472 NO-LOAD OUTPUT ERROR vs. SUPPLY VOLTAGE



MAX472 ERROR vs. SUPPLY VOLTAGE



ДОДАТОК Б

Даташит цифрового датчика струму та напруги на INA219 з шиною I2C

INA219 Zerø-Drift, Bidirectional Current/Power Monitor With I²C Interface

1 Features

- Senses Bus Voltages from 0 to 26 V
- Reports Current, Voltage, and Power
- 16 Programmable Addresses
- High Accuracy: 0.5% (Maximum) Over Temperature (INA219B)
- Filtering Options
- Calibration Registers
- SOT23-8 and SOIC-8 Packages

2 Applications

- Servers
- Telecom Equipment
- Notebook Computers
- Power Management
- Battery Chargers
- Welding Equipment
- Power Supplies
- Test Equipment

3 Description

The INA219 is a current shunt and power monitor with an I²C- or SMBUS-compatible interface. The device monitors both shunt voltage drop and bus supply voltage, with programmable conversion times and filtering. A programmable calibration value, combined with an internal multiplier, enables direct readouts of current in amperes. An additional multiplying register calculates power in watts. The I²C- or SMBUS-compatible interface features 16 programmable addresses.

The INA219 is available in two grades: A and B. The B grade version has higher accuracy and higher precision specifications.

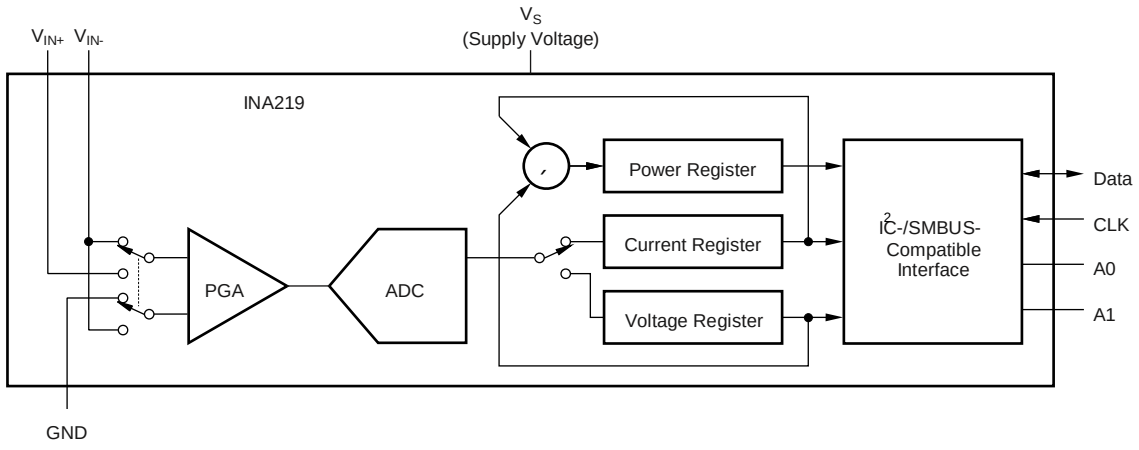
The INA219 senses across shunts on buses that can vary from 0 to 26 V. The device uses a single 3- to 5.5-V supply, drawing a maximum of 1 mA of supply current. The INA219 operates from –40°C to 125°C.

Device Information(1)

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
INA219	SOIC (8)	3.91 mm × 4.90 mm
	SOT-23 (8)	1.63 mm × 2.90 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Simplified Schematic



Electrical Characteristics:

At T_A = 25°C, V_S = 3.3 V, V_{IN+} = 12V, V_{SHUNT} = (V_{IN+} – V_{IN-}) = 32 mV, PGA = /1, and BRNG(1) = 1, unless otherwise noted.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	INA219A			INA219B			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
INPUT								

Full-scale current sense (input) voltage VSHUNTrange		PGA = /1	0		±40	0		±40	mV
		PGA = /2	0		±80	0		±80	mV
		PGA = /4	0		±160	0		±160	mV
		PGA = /8	0		±320	0		±320	mV
Bus voltage (input voltage) range(2)		BRNG = 1	0		32	0		32	V
		BRNG = 0	0		16	0		16	V
CMRR Common-mode rejection		V_{IN+} = 0 to 26 V	100	120		100	120		dB
VOS	Offset voltage, RTI(3)	PGA = /1		±10	±100		±10	±50(4)	µV
		PGA = /2		±20	±125		±20	±75(4)	µV
		PGA = /4		±30	±150		±30	±75(4)	µV
	vs Temperature	PGA = /8		±40	±200		±40	±100(4)	µV
		T_A = –25°C to 85°C		0.1			0.1		µV/°C
PSRRvs Power Supply		V_S = 3 to 5.5 V		10			10		µV/V
Current sense gain error				±40			±40		m%
vs Temperature		T_A = –25°C to 85°C		1			1		m%/°C
IN+ pin input bias current		Active mode		20			20		µA
IN– pin input bias current || $V_{IN–}$ pin input impedance		Active mode		20 || 320			20 || 320		µA || kΩ
IN+ pin input leakage(5)		Power-down mode		0.1	±0.5		0.1	±0.5	µA
IN– pin input leakage(5)		Power-down mode		0.1	±0.5		0.1	±0.5	µA
DC ACCURACY									
ADC basic resolution				12			12		bits
Shunt voltage, 1 LSB step size				10			10		µV
Bus voltage, 1 LSB step size				4			4		mV
Current measurement error				±0.2%	±0.5%		±0.2%	±0.3%(4)	
over Temperature		T_A = –25°C to 85°C			±1%			±0.5%(4)	
Bus voltage measurement error				±0.2%	±0.5%		±0.2%	±0.5%	
over Temperature		T_A = –25°C to 85°C			±1%			±1%	
Differential nonlinearity				±0.1			±0.1		LSB
ADC TIMING									

ADC conversion time	12 bit		532	586		532	586	µs
	11 bit		276	304		276	304	µs
	10 bit		148	163		148	163	µs
	9 bit		84	93		84	93	µs
Minimum convert input low time		4			4			µs
SMBus								
SMBus timeout(6)			28	35		28	35	ms
DIGITAL INPUTS (SDA as Input, SCL, A0, A1)								
Input capacitance			3			3		pF
Leakage input current	0 ≤ VIN ≤ VS		0.1	1		0.1	1	µA
V_{IH} input logic level		0.7 (V_S)		6	0.7 (V_S)		6	V
V_{IL} input logic level		–0.3		0.3 (V_S)	–0.3		0.3 (V_S)	V

(1) BRNG is bit 13 of the Configuration register 00h in Figure 19.
(2) This parameter only expresses the full-scale range of the ADC scaling. In no event should more than 26 V be applied to this device.
(3) Referred-to-input (RTI)
(4) Indicates improved specifications of the INA219B.
(5) Input leakage is positive (current flowing into the pin) for the conditions shown at the top of the table. Negative leakage currents can occur under different input conditions.
(6) SMBus timeout in the INA219 resets the interface any time SCL or SDA is low for over 28 ms.

Electrical Characteristics: (continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	INA219A			INA219B			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Hysteresis			500			500		mV
OPEN-DRAIN DIGITAL OUTPUTS (SDA)								
Logic 0 output level	I_{SINK} = 3 mA		0.15	0.4		0.15	0.4	V
High-level output leakage current	VOUT = VS		0.1	1		0.1	1	µA
POWER SUPPLY								
Operating supply range		3		5.5	3		5.5	V
Quiescent current			0.7	1		0.7	1	mA
Quiescent current, power-down mode			6	15		6	15	µA
Power-on reset threshold			2			2		V

ДОДАТОК В

Даташит плати Arduino Uno SMD Rev3

Product Reference Manual
SKU: A000066

Description

The Arduino® UNO R3 is the perfect board to get familiar with electronics and coding. This versatile development board is equipped with the well-known ATmega328P and the ATMega 16U2 Processor.

This board will give you a great first experience within the world of Arduino.

Features

ATMega328P Processor

Memory

- AVR CPU at up to 16 MHz
- 32 kB Flash
- 2 kB SRAM
- 1 kB EEPROM

Security

- Power On Reset (POR)
- Brown Out Detection (BOD)

Peripherals

- 2x 8-bit Timer/Counter with a dedicated period register and compare channels
- 1x 16-bit Timer/Counter with a dedicated period register, input capture and compare channels
- 1x USART with fractional baud rate generator and start-of-frame detection
- 1x controller/peripheral Serial Peripheral Interface (SPI)
- 1x Dual mode controller/peripheral I2C
- 1x Analog Comparator (AC) with a scalable reference input
- Watchdog Timer with separate on-chip oscillator
- Six PWM channels

- Interrupt and wake-up on pin change

ATMega16U2 Processor

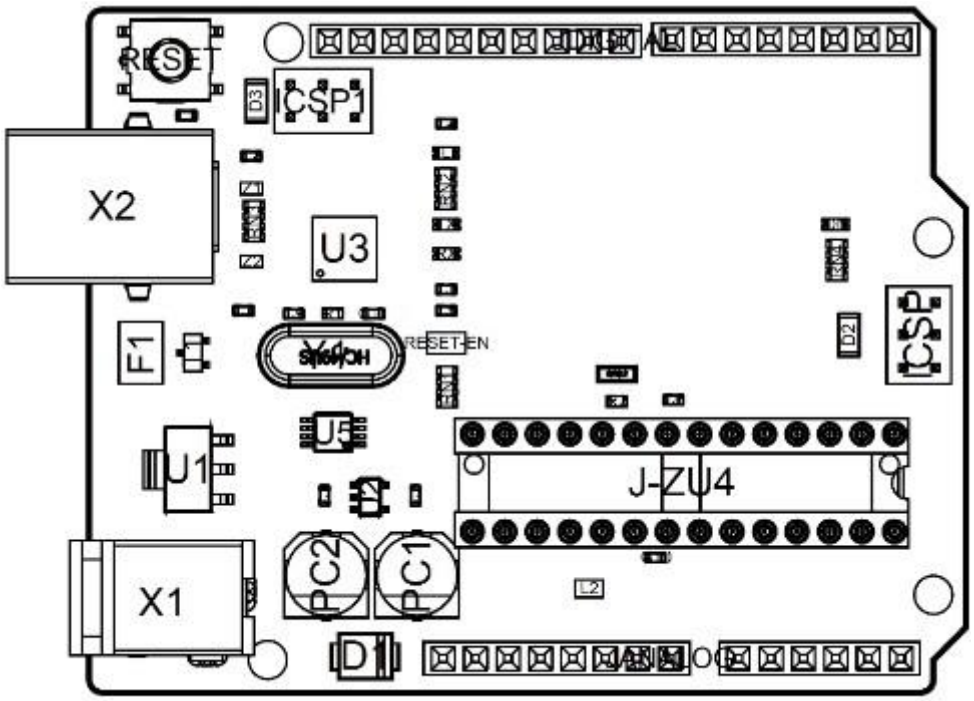
8-bit AVR® RISC-based microcontroller

Memory

- 16 kB ISP Flash
- 512B EEPROM
  512B SRAM
- debugWIRE interface for on-chip debugging and programming

Power

- 2.7-5.5 volts



Ref.	Description	Ref.	Description
X1	Power jack 2.1x5.5mm	U1	SPX1117M3-L-5 Regulator
X2	USB B Connector	U3	ATMEGA16U2 Module
PC1	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	U5	LMV358LIST-A.9 IC
PC2	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	F1	Chip Capacitor, High Density
D1	CGRA4007-G Rectifier	ICSP	Pin header connector (through hole 6)
J-ZU4	ATMEGA328P Module	ICSP1	Pin header connector (through hole 6)
Y1	ECS-160-20-4X-DU Oscillator		

Processor

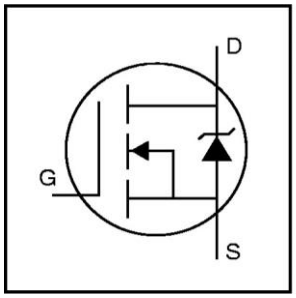
The Main Processor is a ATmega328P running at up to 20 MHz. Most of its pins are connected to the external headers, however some are reserved for internal communication with the USB Bridge coprocessor.

ДОДАТОК Г

Даташит силового польового транзистора IRLZ44N

HEXFET^{O} Power MOSFET

- Logic-Level Gate Drive
- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 1 75 ^{o}c Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



V_{DSS} = 55V

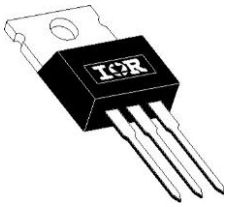
$R_{DS(on)}$ = 0.022Ω

I_D = 47A

Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve the lowest possible on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HE-XP-ET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



TO-220AB

Absolute Maximum Ratings

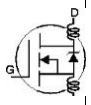
	Parameter	**Max.**	**Units**
	Continuous Drain Current,	47	
loooc	Continuous Drain Current,	33	
IDM	Pulsed Drain Current O	160	w
	Power Dissipation Linear Derating Factor	1 10 0.71	vwoc
	Gate-to-Source Voltage	± 16	
	Single Pulse Avalanche Energy O	210	
IAR	Avalanche CurrentO	25	
EAR	Repetitive Avalanche EnergyO	1 1	
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt	5.0	V/ns
^{T}STG	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to + 175	
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw.	10 Ibf.in (1 .1 N.m)	

Thermal Resistance

	Parameter	**Min.**	**Typ.**	**Max.**	**Units**
	Junction-to-Case			1.4	
Rocs	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface		0.50		
	Junction-to-Ambient			62	

Electrical Characteristics @ TJ = 25 °c (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
BR DSS	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55				= OV, ID = 250pA
	Breakdown Voltage Temp. Coefficient		0.070		voc	Reference to 25 °C, I = 1mA
				0.022		D VGS = 10V, ID = 25A @
DS(on)	Static Drain-to-Source On-Resistance		— —	0.025	Q	VGs = 5 . OV, ID = 25A @ Vcs =
VGS(th)	Gate Threshold Voltage	1.0		0.035 2.0	V	4 . ov, VDS = VGS, ID = 250HA
	Forward Transconductance	21			S	VDS -- 25V, ID = 25A
DSS	Drain-to-Source Leakage Current			25		VDS = 55V, VGS = OV
				250		VDS = 44V, VGS = OV, TJ -- 150 °C
GSS	Gate-to-Source Forward Leakage			100		VGS =
	Gate-to-Source Reverse Leakage			-100		
	Total Gate Charge			48		ID = 25A VDS = 44V VGS = 5.OV, See Fig. 6 and 13 @
Qgs	Gate-to-Source Charge			8.6		
Qgd	Gate-to-Drain ("Miller") Charge			25		
td(on)	Turn-On Delay Time		1 1			VDD = 28V ID = 25A RG = 3.40, VGS = 5.OV RD = 1 .10, See Fig. 10 @
	Rise Time		84			
td(off)	Turn-Off Delay Time		26		ns	
tf	Fall Time		15			
LD	Internal Drain Inductance		4.5			Between lead 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
	Internal Source Inductance		7.5			



ДОДАТОК Д

Програма роботи модуля мікроконтролера

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
// Ініціалізація дисплея на адресі 0x27 з розміром 16x2
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
// Піни для датчиків струму та напруги
const int currentSensorPin = A0; // Датчик струму підключений до аналогового входу A0
const int voltageSensorPin = A1; // Датчик напруги підключений до аналогового входу A1
// Константи
const float voltageThreshold = 2.3; // Поріг напруги
const float shuntResistor = 0.01; // Опір шунта в Ом
const float knownResistor = 10.0; // Відомий опір в Ом
void setup() {
  // Ініціалізація серійного зв'язку та дисплея
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Battery Test");
  delay(2000); // Пауза для відображення початкового повідомлення
}
```

```
void loop() {
  // Початок вимірювання ємності
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Measuring Cap...");
  // Перевірка напруги акумулятора
  float voltage = readVoltage();
  if (voltage < voltageThreshold) {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Voltage < 2.3V");
    while (1); // Зупинка програми
  }
  // Вимірювання ємності
  float capacity = measureCapacity();
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Cap: ");
  lcd.print(capacity);
  lcd.print(" mAh");
  delay(5000); // Затримка перед наступним вимірюванням
  // Початок вимірювання внутрішнього опору
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Measuring R...");
```

```
  // Перевірка напруги акумулятора
  voltage = readVoltage();
  if (voltage < voltageThreshold) {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Voltage < 2.3V");
    while (1); // Зупинка програми
  }
  // Вимірювання внутрішнього опору
  float internalResistance = measureInternalResistance();
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("R: ");
  lcd.print(internalResistance);
  lcd.print(" Ohm");
  delay(5000); // Затримка перед наступним вимірюванням
}
// Функція для зчитування напруги
float readVoltage() {
  int sensorValue = analogRead(voltageSensorPin);
  float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0); // Перетворення значення вольт
  return voltage;
}
// Функція для зчитування струму
float readCurrent() {
```

```
  int sensorValue = analogRead(currentSensorPin);
  float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0); // Перетворення значення вольт
  float current = voltage / shuntResistor; // Обчислення струму в Амперах
  return current;
}
// Функція для вимірювання ємності
float measureCapacity() {
  float totalPower = 0;
  for (int i = 0; i < 60; i++) {
    float voltage = readVoltage();
    float current = readCurrent();
    float power = voltage * current; // Потужність
    totalPower += power;
    delay(1000); // Затримка 1 секунда
  }
  float capacity = totalPower * 60 * 1000; // Ємність в мА/год
  return capacity;
}
// Функція для вимірювання внутрішнього опору
float measureInternalResistance() {
  float current = readCurrent();
  float voltage = readVoltage();
  float totalResistance = voltage / current; // Загальний опір
```

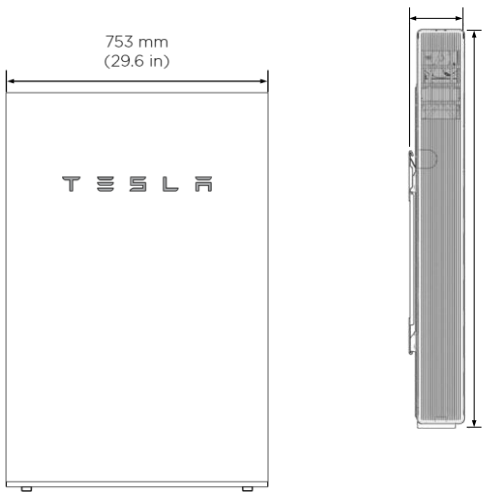
```
  float internalResistance = totalResistance - (shuntResistor + knownResistor); // Внутрішній опір

  return internalResistance;

}
```

ДОДАТОК Е

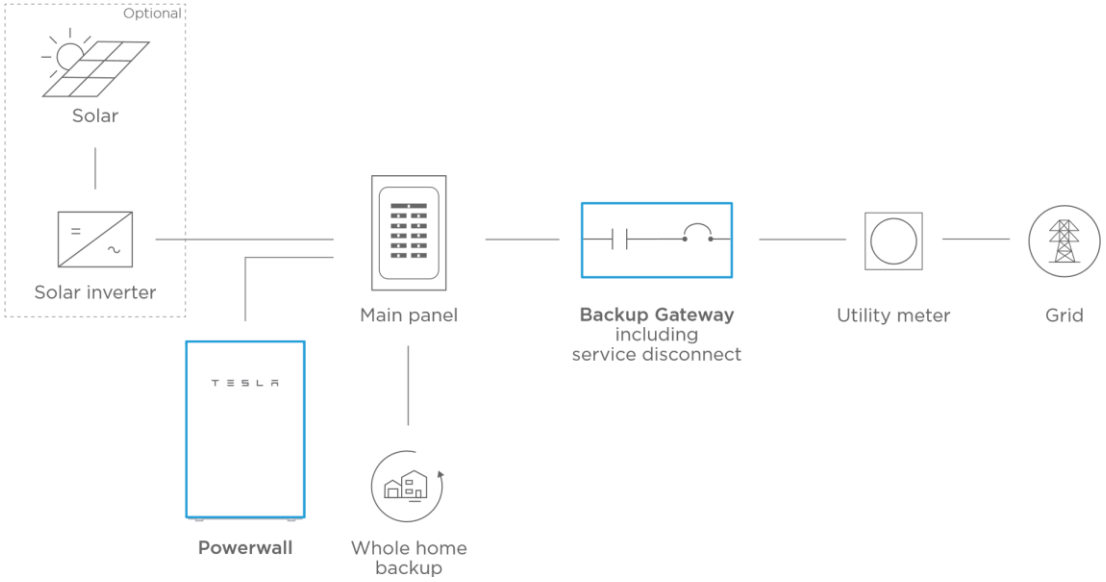
Даташит АКБ Tesla Powerwall 2.0

AC Voltage (Nominal)	120/240 V
Feed-In Type	Split Phase
Grid Frequency	60 Hz
Total Energy	14 kWh
Usable Energy	13.5 kWh
Real Power, max continuous	5 kW (charge and discharge)
Real Power, peak (10!s, off-grid/backup)	7 kW (charge and discharge)
Apparent Power, max continuous	5.8 kVA (charge and discharge)
Apparent Power, peak (10!s, off-grid/backup)	7.2 kVA (charge and discharge)
Maximum Supply Fault Current	10 kA
Maximum Output Fault Current	32 A
Overcurrent Protection Device	30 A
Imbalance for Split-Phase Loads	100%
Power Factor Output Range	+/– 1.0 adjustable
Power Factor Range (full-rated power)	+/– 0.85
Internal Battery DC Voltage	50 V
Round Trip Efficiency[1,3]	90%
Warranty	10 years

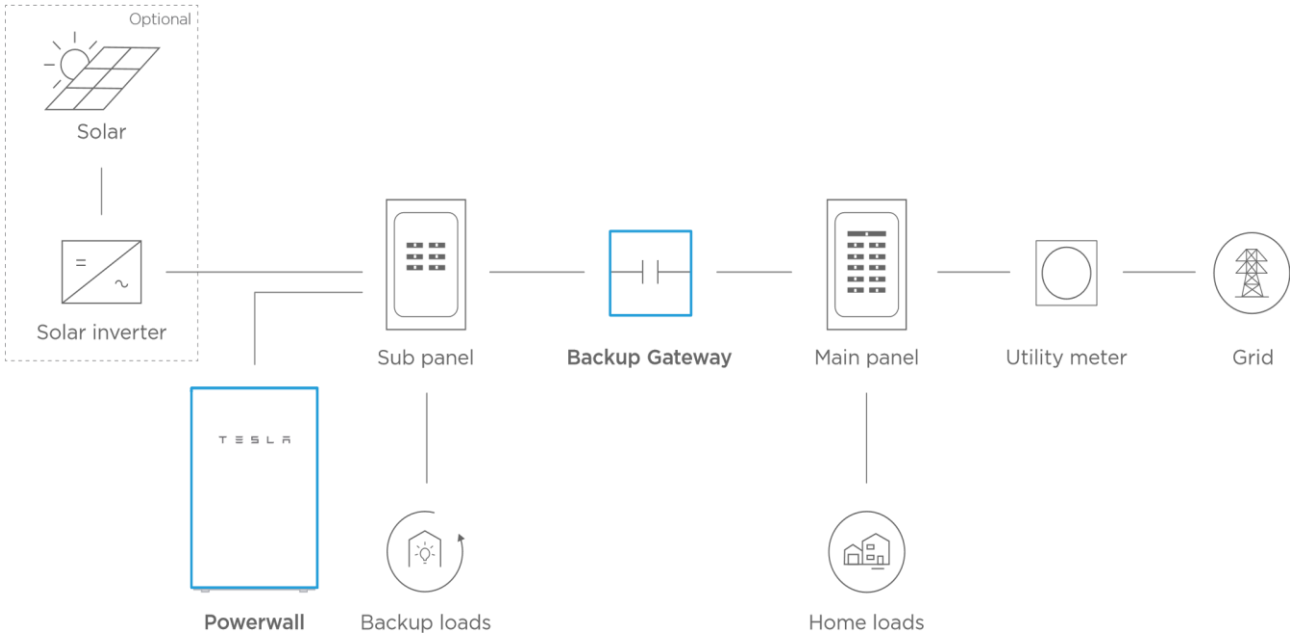
Dimensions[1]	1150 mm x 755 mm x 147 mm (45.3 in x 29.6 in x 5.75 in)
Weight[1]	114 kg (251.3 lbs)
Mounting options	Floor or wall mount



Operating Temperature	–20°C to 50°C (–4°F to 122°F)
Recommended Temperature	0°C to 30°C (32°F to 86°F)
Operating Humidity (RH)	Up to 100%, condensing
Storage Conditions	–20°C to 30°C (–4°F to 86°F) Up to 95% RH, non-condensing State of Energy (SoE): 25% initial
Maximum Elevation	3000 m (9843 ft)
Environment	Indoor and outdoor rated
Enclosure Type	NEMA 3R
Ingress Rating	IP67 (Battery & Power Electronics) IP56 (Wiring Compartment)
Wet Location Rating	Yes
Noise Level @ 1m	<! 40 dBA at 30°C (86°F)



PARTIAL HOME BACKUP

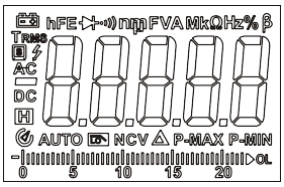


ДОДАТОК Ж

Даташит цифрового мультиметра UNI-T UT61E +

1. Indicator light
2. LCD display
3. Function buttons
4. Function dial
5. Input terminals
6. USB (Bluetooth) access port
7. Test lead slots
8. Nut for external holder
9. Battery compartment fixing screw
10. Tilt stand

LCD Display



UT61E+

Symbol	Description
ϟ	Measured voltage is >30V (AC or DC)
H	Data hold
−	Negative reading
AC/DC	AC/DC measurement
	Low battery indication
AUTO	Auto range
	Diode test
	Continuity test
Δ	Relative value measurement
Ω,kΩ,MΩ	Resistance units: ohm, kilohm, megaohm
mV,V	Voltage units: millivolt, volt
μA,mA,A	Current units: microampere, milliampere, ampere
nF,μF,mF	Capacitance units: nanofarad, microfarad, millifarad
Hz,%	Frequency, duty ratio
	Data transmission
β	Transistor magnification (UT61E+)
NCV	Non-contact voltage detection
P-MAX/P-MIN	Peak measurement (UT61D+/UT61E+)
MAX/MIN	Maximum/Minimum measurement
°C/°F	Celsius/Fahrenheit (UT61D+)
LoZ	Low impedance measurement (UT61D+)
hFE	Transistor magnification measurement (UT61E+)
	Auto power off
TRMS	True RMS

Function Buttons

Short press: Press a button for less than 2s.

Long press: Press a button for more than 2s.

1)

Button
Short press to switch between functions in each compound function position.

2)

Button
Short press to enter the manual range mode and change the range. Long press to exit the manual

range mode.

3) *Button*
Short press to switch between frequency and duty ratio measurement.
Long press to turn on/off data communication (note: only available when USB communication module is inserted into the casing).

4) *Button*
Short press to enter/exit the relative value measurement mode.

5) *Button*
Short press to cycle through the measured maximum and minimum. Long press to cycle through the peak maximum and peak minimum (UT61D+/UT61E+).

6) **Button**

Short press to cycle through the measured maximum and minimum (UT61B+).

7) **Button**

Short press to hold the measurement on the display and " " will be displayed. Short press again to cancel data hold.
Long press to turn on/off the backlight.

Electrical Specifications

Accuracy: ± (a% of reading + b digits), 1 year warranty

Ambient temperature: 23°C ± 5°C (73.4°F ± 9°F) Relative humidity: ≤75%

⚠ Caution:

To ensure measurement accuracy, the operating temperature should be within 18℃~28℃ and the fluctuation range should be within ±1°C. When the temperature is <18℃ or >28℃, add temperature coefficient error: 0.1 x (specified accuracy)/ °C.

DC Voltage

UT61E+		
Range	Resolution	Accuracy
220.00mV	0.01mV	± (0.1%+5)
2.2000V	0.1mV	± (0.05%+5)
22.000V	1mV	
220.00V	10mV	
1000.0V	0.1V	± (0.1%+5)

AC Voltage

UT61 E+			
Range	Resolution	Frequency response	Accuracy
220.00mV	0.01mV	40Hz~1kHz	± (1.0%+10)
		1kHz~10kHz	± (1.5%+30)
2.2000V	0.1mV	40Hz~1kHz	± (0.8%+10)
		1kHz~10kHz	± (1.2%+50)

		40Hz~100Hz (LPF)	± (1.2%+50)
22.000V	1mV	40Hz~1kHz	± (0.8%+10)
		1kHz~10kHz	± (1.2%+50)
		40Hz~100Hz (LPF)	± (1.8%+50)
220.00V	10mV	40Hz~1kHz	± (0.8%+10)
		1kHz~10kHz	± (2.0%+50)
		40Hz~100Hz (LPF)	± (2.0%+50)
1000.0V	0.1V	40Hz~1kHz	± (1.2%+10)
		1kHz~10kHz	± (3.0%+50)

Resistance

UT61E+		
Range	Resolution	Accuracy
220.00Ω	0.01Ω	± (0.5+10)
2.2000kΩ	0.1Ω	
22.000kΩ	1Ω	
220.00kΩ	10Ω	
2.2000MΩ	100Ω	± (0.8+10)
22.000MΩ	1kΩ	± (1.5%+10)
220.00MΩ	10kΩ	± (3.0%+50)

Capacitance

UT61E+		
Range	Resolution	Accuracy
22.000nF	1pF	± (3.0%+5)
220.00nF	10pF	
2.2000μF	100pF	
22.000μF	1nF	
220.00μF	10nF	± (4.0%+5)
2.2000mF	100nF	
22.000mF	1μF	± (10%+5)
220.00mF	10μF	± (20%+5)

DC Current

UT61E+		
Range	Resolution	Accuracy
220.00μA	0.01μA	± (0.5%+10)
2200.0μA	0.1μA	
22.000mA	1μA	
220.00mA	10μA	
20.000A	1mA	± (1.2%+50)

AC Current

UT61E+			
Range	Resolution	Frequency response	Accuracy
220μA	0.01μA	40Hz~1kHz	± (0.8%+10)
		1kHz~10kHz	± (3%+50)
2200μA	0.1μA	40Hz~1kHz	± (0.8%+10)
		1kHz~10kHz	± (3%+50)
22mA	1μA	40Hz~1kHz	± (1.2%+10)
		1kHz~10kHz	± (3%+50)
220mA	10μA	40Hz~1kHz	± (1.2%+10)
		1kHz~10kHz	± (3%+50)
20A	1mA	40Hz~1kHz	± (1.2%+10)
		1kHz~10kHz	± (3%+50)

Frequency/Duty Ratio

UT61E+		
Range	Resolution	Accuracy
10Hz~220MHZ	0.01Hz~0.01MHz	± (0.01%+5)
0.1%~99.9%	0.1%	± (2%+5)