

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

бакалавр
Освітній рівень

Адаптивний пристрій контролю рівня заряду батареї живлення
Назва теми

КІПТР.021020.01.08 ПЗ

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Шифр, назва

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Шифр, назва

Освітня програма «Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі»

Шифр, назва


Виконав:

студент IV курсу, група ТР2-21-1


Підпис

Вадим СЛІСАРЕНКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник


02.06.2025
Підпис, дата

Костянтин ГОРЯЩЕНКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:

зав. кафедри телекомунікацій,
медійних та інтелектуальних
технологій


Підпис, дата

Сергій ПІДЧЕНКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 11 » 06 2025 р.

Хмельницький 2025

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Шифр, назва

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Шифр, назва

Освітня програма «Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі»

Шифр, назва

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Сергій ПІДЧЕНКО

«10» 02 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

СЛІСАРЕНКО Вадим Сергійович

(Прізвище, ім'я, по батькові студента)

1 Тема проєкту Адаптивний пристрій контролю
рівня заряду батареї живлення

керівник проєкту ГОРЯЩЕНКО Костянтин Леонідович, к.т.н., доцент
(Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання)

Затверджено

наказом ректора університету від 07 лютого 2025 р. № 20

2 Строк подання студентом проєкту на кафедру «31» травня 2025 р.

3 Вихідні дані до проєкту

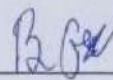
1. Розглянути принципи роботи акумуляторних батарей.

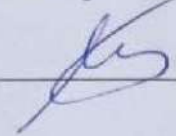
2. Виконати аналіз та розробити структурну схеми адаптивного
пристрою контролю рівня заряду батареї живлення.

3. Виконати електричні розрахунки пристрою

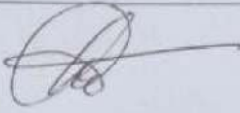

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Вступ. 2. Огляд принципів роботи акумуляторів. 3. Проектування
структурної схеми пристрою. 4 Схема електрична пристрою

Завдання отримав 

Науковий керівник 

Консультанти розділів кваліфікаційного проекту

Розділ	Ім'я, ПРІЗВИЩЕ та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормоконтроль	Стецюк В. І. доцент каф. ТМІТ		

ПЛАН ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ

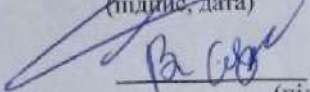
№ п/п	Найменування виду роботи	Форма звітності, термін виконання	Відмітка наукового керівника
1	Вступ	21.02.2025	Виконано
2	Огляд літератури, аналіз доцільності розробки	14.03.2025	Виконано
3	Принципи роботи та моделювання	04.04.2025	Виконано
4	Аналіз та моделювання роботи окремих вузлів	25.04.2025	Виконано
5	Розробка схеми електричної принципової та розрахунки	09.05.2025	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки до КПТР	16.05.2025	Виконано
7	Оформлення презентаційних матеріалів	23.05.2025	Виконано

Науковий керівник


(підпис, дата)

Костянтин ГОРЯЩЕНКО

Студент


(підпис, дата)

17.02.25
Вадим СЛІСАРЕНКО

Анотація

УДК 621.396

Виконав: Вадим СЛІСАРЕНКО

Керівник: Костянтин ГОРЯЩЕНКО

Адаптивний пристрій контролю рівня заряду батареї живлення

78 с., Бібліограф. Найменувань 9, ілюстрацій 18, таблиць 6.

В кваліфікаційному проекті розглянуті питання з проектування адаптивного пристрій контролю рівня заряду батареї живлення .

Представлено дослідження принципів роботи вимірювача струмів та напруг під час роботи. Запропоновано використати метод кускової апроксимації для визначення моментів часу запису даних для мінімізації обсягу пам'яті.

Даний прилад може бути використаний в науково-дослідних інститутах та навчальні, а також підприємства радіоелектронної промисловості. Прилад також може використовуватися у якості обладнання при проведенні лабораторних та практичних занять інженерних напрямків.

В ході проектування проведено моделювання принципів роботи, створено дослідний зразок, виконані основні електричні та конструкторські розрахунки, моделювання на ЕОМ. Проведено дослідження роботи за реальних умов із застосуванням акумуляторної батареї LiFePo₄ 280Ah, 3.2V.

Ключові слова: Micro:bit, автоматизація, випромінювання

Annotation

UDC 621.396

Performed by: Vadym SLISARENKO

Supervisor: Kostiantyn HORYASHCHENKO

Adaptive device for controlling the charge level of a power supply battery

78 p., Bibliography. 9 references, 18 illustrations, 6 tables.

The qualification project considers issues related to the design of an adaptive battery charge level control device.

It presents a study of the principles of operation of a current and voltage meter during operation. It proposes using the piecewise approximation method to determine the time moments of data recording to minimise memory usage.

This device can be used in research institutes and educational institutions, as well as in radio-electronic industry enterprises. The device can also be used as equipment for laboratory and practical classes in engineering fields.

During the design process, the principles of operation were modelled, a prototype was created, and the main electrical and design calculations and computer modelling were performed. Research was conducted under real conditions using a LiFePo₄ 280Ah, 3.2V rechargeable battery.

Keywords: Micro:bit, automation, radiation

Зміст

ВСТУП.....	4
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ КОНТРОЛЮ LiFePO4 БАТАРЕЙ.....	5
1.1 Вступ	5
1.2 Класичні кислотні та лужні акумулятори. Огляд їх властивостей.....	6
1.3 Порівняння конструктивних параметрів літєвих акумуляторів з існуючими кислотним та лужним елементами. Переваги та недоліки	8
1.4 Аналіз конструкторських аналогів.....	13
1.5 Внутрішній опір батареї LiFePO4 та зв'язок із терміном її служби.....	15
1.5.1 Що таке внутрішній опір?	15
1.5.2 Складові внутрішнього опору	16
1.5.3 Внутрішній імпеданс літєвої батареї.....	16
1.6 Вольтамперна діаграма LiFePO4 та зв'язок її з State-of-Charge (SOC)	19
1.7 Перевірка напруги LiFePO4 для визначення рівня SoC батареї	21
1.8 Обладнання та інструменти для виконання операції з тестування стану батареї.....	23
1.8.1 Проведення тесту внутрішнього опору акумулятора LiFePO4	23
1.8.2 Фактори, що впливають на результати тесту на внутрішній опір	24
1.8.3 Альтернативні методи виявлення стану батареї	25
1.8.4 Методи тестування батареї LiFePO4.....	25
1.9 Основні технічні показники аналога і нової розробки	27
Висновки з розділу	30

КПТР.021020.01.08 ПЗ

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Слісаренко В.С.	<i>[Signature]</i>	29.05.2015	Адаптивний пристрій контролю рівня заряду батареї живлення Пояснювальна записка	4	2
Перевір.		Горященко К.	<i>[Signature]</i>	02.05.2015			
Т.Контр.							
Н.контр.		Стречок В.Г.	<i>[Signature]</i>	12.06.2015			
Затвер.		Підченко С.	<i>[Signature]</i>				
						ТР2-21-1, ХНУ	

2 ПРОЕКТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

КОНТРОЛЮ РІВНЯ ЗАРЯДУ	31
2.1 Конструкторський аналіз технічного завдання.....	31
2.1.1 Аналіз вимог ТЗ	31
2.1.2 Аналіз конструкції.....	31
2.2 Розробка конструкції вимірювача	33
2.3 Плата мікроконтролера Micro:bit як основа вимірювача.....	33
2.4 Джерело живлення.....	36
2.4.1 Розрахунок стабілізатора живлення	36
2.4.2 Розрахунок трансформатора живлення	39
2.4.3 Потужність, що виділяється на стабілізаторі.....	41
2.4.4 Параметри вхідних конденсаторів.....	41
2.5 Датчик струму ACS712.....	42
2.6 Вимірювання напруги та струму	48
2.7 Операційні підсилювачі.....	50
2.8 Вимірювання струму та напруги	50
2.8.1 Зсув рівня сигналу для роботи з Micro:Bit.....	50
2.8.2 Вимірювання напруги за допомогою Micro:Bit.....	52
2.9 Розробка та розрахунок вихідного фільтра	53
Висновки з розділу	56
3 ПРОЄКТУВАННЯ ВУЗЛІВ ТА ПРИСТРОЮ В ЦІЛОМУ	57
3.1 Вступ.....	57
3.2 Застосування методу кускової апроксимації для оцінювання стану батареї	58
3.3 Практична реалізація прототипу	62
3.4 Розробка алгоритму вимірювання та запису даних.....	65
3.4.1 Програмне забезпечення приладу.....	65
3.5 Результати вимірювання	68
Висновки з розділу	71
ВИСНОВКИ З РОБОТИ.....	72
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	73
ДОДАТКИ	74

					<i>КПТР.021020.01.02 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

Мета роботи

Розробити пристрій, який забезпечує дистанційний контроль параметрів окремої секції або окремого акумулятора.

Теоретичне підґрунтя

Найбільші зміни у параметрах акумулятора — зокрема напрузі та струмі заряду/розряду — відбуваються під час досягнення граничних станів: повного заряду або повного розряду. Саме в ці моменти можливо з найбільшою точністю оцінити стан акумулятора.

Актуальність теми

Оперативне отримання достовірної інформації про стан акумуляторної батареї у реальному часі дозволяє підвищити точність її діагностики, своєчасно виявляти відхилення від норми та продовжити термін експлуатації.

Наявні системи моніторингу здебільшого обмежені функцією автоматичного зчитування поточних параметрів, а системи тестування часто потребують виведення батареї з експлуатації та додаткових енергетичних витрат. Це унеможлиблює безперервне тестування та підвищує витрати на обслуговування.

Результати цієї роботи можуть бути використані для створення ефективних систем діагностики в акумуляторних блоках систем альтернативного енергоживлення. Запропонований пристрій може бути інтегрований як у нові батареї, так і у вже існуючі акумуляторні системи.

Ключові слова: альтернативна енергетика, мікроконтролер, вимірювання, літійовий акумулятор.

						<i>КПТР.021020.01.02 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата			4

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ КОНТРОЛЮ LiFePO₄ БАТАРЕЙ

1.1 Вступ

На сучасному етапі розвитку науки і техніки галузь радіоелектроніки займає чи найпровідніше місце. З року в рік продукція цієї галузі полегшує життя людям, електронні прилади та пристрої постійно набувають позитивних якостей та властивостей; конкуруючи між собою лише найкращі зразки завойовують попит на ринку радіоелектронних товарів.

Створення пристрою дозволяє використовувати його у широких межах у складі різноманітної побутової та професійної апаратури.

Даний проект розроблений з метою вирішення головних проблем, які виникають на сучасному етапі розвитку науки і техніки, а саме:

- а) конструкція приладу повинна бути малогабаритною;
- б) мінімальна вартість;
- в) простота та надійність;
- г) оптимальна вага;
- д) збереження основних функціональних показників;
- е) простота в експлуатації.

Завдання розробки полягає в створенні пристрою, що забезпечив би правильне та якісне виконання приписаних йому функцій, поєднуював би в собі високі технічні та якісні характеристики і низьку собівартість, що досягається за рахунок використання сучасної елементної бази та сучасних технологій, та був би конкурентоздатним.

Акумуляторна батарея має властивість після розряду відновлювати свою здатність віддавати струм у зовнішній ланцюг, якщо через неї пропустити струм у зворотному напрямку, тобто зробити його заряд [5].

					<i>КПТР.021020.01.02 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		5

1.2 Класичні кислотні та лужні акумулятори. Огляд їх властивостей

Різні типи акумуляторів мають не тільки різну вартість, але й відрізняються за основними параметрами: кількістю циклів перезарядки, максимальним терміном зберігання, ємністю, розмірами, температурним діапазоном роботи, можливостями прискореної зарядки тощо [42].

Як правило, кожен виробник використовує оригінальну технологію виробництва, і, відповідно, свої власні розробки з конструкції тих чи інших моделей. Проте, можна виділити кілька загальних підходів до конструкції різних типів акумуляторів.

Свинцево-кислотний акумулятор - найбільш поширений на сьогоднішній день тип акумуляторів, винайдений в 1859 французьким фізиком Гастоном Планте [10].

Принцип роботи свинцево-кислотних акумуляторів заснований на електрохімічних реакціях свинцю та діоксиду свинцю в сірчано-кислотному середовищі.

Також існують кілька різновидів класичних свинцево-кислотних акумуляторів з рідким електролітом, наприклад:

- *Antomin 2,3-4*: акумуляторні батареї з 2,3-4% вмістом сурми у матеріалі пластин;
- *Hybrid*: акумуляторні батареї комбінованої (гібридної) конструкції, у яких негативні пластини виконані з кальцієвого сплаву свинцю, позитивні - з малосурм'янистого;
- *Ca / Ca*: акумуляторні батареї, що не обслуговуються, у яких пластини виготовлені зі сплавів свинцю, легованого кальцієм [48];

										КПТР.021020.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата							6

- *PbCa / Silver*: акумуляторні батареї, що не обслуговуються, у яких пластини виготовлені зі складних свинцево-кальцієвих сплавів з додаванням срібла (технологія Varta) [25].

AGM (Absorbent Glass Mat) - це технологія виготовлення свинцево-кислотних акумуляторів. Відмінність батарей AGM (рис. 1.1.1) від класичних у тому, що в них міститься абсорбований електроліт, а не рідкий, що дає низку змін у властивостях акумулятора [1] .

Перевагою є:

- стійкість до вібрації;
- можливість встановлення в будь-якому положенні та відсутності в необхідності обслуговувати;
- конструкція не потребує обслуговування;
- конструкція герметична і має клапанне регулювання, що запобігає витоку кислоти та корозії. клем;
- впевнена робота за низьких температур (-30 °C);
- можливість роботи в нестандартному положенні (на боку).

Недоліками:

- високий вага;
- оксид свинцю, що міститься в них токсичний, що робить їх небезпечними для навколишнього середовища середовища;
- висока ціна.

					<i>КПТР.021020.01.02 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		7



Рис. 1.1. Свинцево-кислотный аккумулятор технологии AGM

1.3 Порівняння конструктивних параметрів літєвих акумуляторів з існуючими кислотним та лужним елементами. Переваги та недоліки

Літєві батареї — це електрохімічні джерела живлення, принцип роботи яких ґрунтується на переміщенні іонів літію між двома електродами — анодом і катодом — через електроліт. Електроліт, як правило, має рідку або гелеподібну форму та забезпечує вільне переміщення іонів між електродами (рис. 1.1). Під час процесу заряджання іони літію мігрують від катода до анода, накопичуючи енергію. При розряджанні вони рухаються у зворотному напрямку — від анода до катода, що супроводжується виділенням електричного струму, який використовується для живлення зовнішніх пристроїв.

Різновиди акумуляторів, такі як літєві, кислотні та лужні, мають суттєві конструктивні та функціональні відмінності, що обумовлює їх застосування в різних сферах.

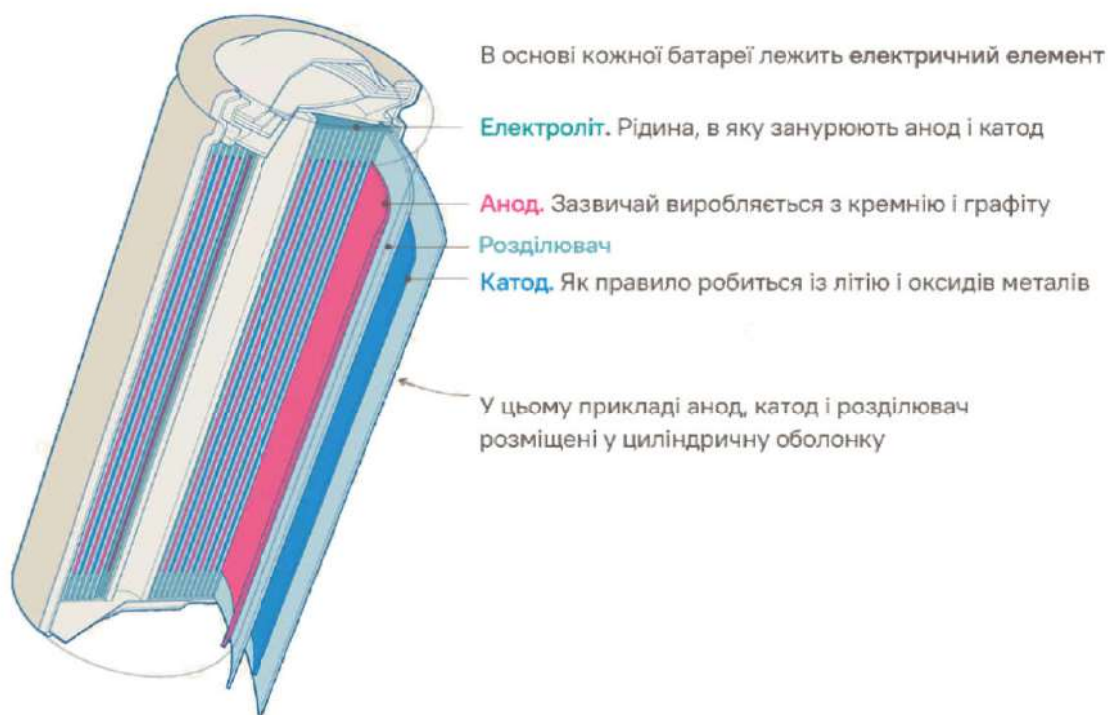
Літєві акумулятори вирізняються високою енергоємністю, малою вагою, довгим терміном служби та здатністю забезпечувати стабільну потужність.

											КПТР.021020.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата								8

Однак вони є дорожчими у виробництві та потребують дотримання спеціальних умов експлуатації через ризики перегріву або пошкодження.

Кислотні акумулятори, зокрема свинцево-кислотні, є більш доступними за ціною, витримують значні навантаження та широко використовуються у транспорті, промисловості та резервних системах живлення. Їх основні недоліки — велика маса, обмежена енергоефективність та потреба в обслуговуванні.

Лужні батарейки — це одноразові джерела живлення, що часто застосовуються в побутових пристроях з невеликим споживанням енергії, як-от пульти дистанційного керування, ліхтарики тощо. Вони є недорогими та зручними, проте не підходять для тривалого або інтенсивного використання через обмежену ємність.



Графіка: Ієн Ботт Фото: Dreamstime

Джерела: Rho Motion; міністерство енергетики США; Samsung; дослідження FT

Рисунок 1.2 – Конструкція батареї

									КПТР.021020.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата						9

У екстремальних умовах (високі температури, механічні удари, перезаряд) літєві батареї менш стабільні та можуть бути вразливими, тоді як кислотні та лужні моделі виявляють кращу витривалість.

Станом на 2024 рік найпоширенішими типами літєвих батарей є:

Літій-іонні (Li-ion) — універсальні та потужні джерела живлення, що використовуються в широкому спектрі пристроїв: електроінструментах, авіаційній техніці, дронах, медичному обладнанні, системах накопичення енергії та електротранспорті.

Літій-полімерні (Li-Po) — дещо поступаються Li-ion за енергетичною щільністю, проте мають перевагу у форм-факторі. Завдяки гнучкій конструкції їх активно застосовують у смартфонах, ноутбуках, планшетах, портативних консолях та компактному медичному обладнанні.

Ключова відмінність між літій-іонними та літій-полімерними батареями полягає у типі електроліту: у літій-полімерних елементах він має гелеподібну або тверду консистенцію, що дає змогу створювати батареї різних форм і розмірів без ризику витоку речовин. Завдяки цьому їх активно використовують у портативній техніці, де важлива компактність і надійність.

Історія розвитку літєвих акумуляторів починається у 1970-х роках, коли американський хімік Стенлі Віттінгем запропонував концепцію акумулятора на основі літію. У своїй першій моделі він застосував дисульфід титану як катод і металевий літій як анод (див. рис. 1.2). Проте ця конфігурація виявилася хімічно нестабільною та токсичною, що спричинило серйозні питання безпеки.

У 1980-х роках Джон Гудінаф зробив значний прорив, змінивши катод на оксид літію-кобальту (рис. 1.3). Такий підхід дозволив подвоїти енергетичну щільність батареї порівняно з попереднім варіантом.

Наступним кроком стало вдосконалення аноду: у 1985 році Акіра Йошино запропонував використовувати нафтовий кокс замість чистого металевого літію (рис. 1.4), що зробило батареї значно безпечнішими. Пізніше

									КПТР.021020.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата						11

У якості іншого аналогу конструкції вимірювального комплексу можна використати генератор SDM-42A[2]. Конструкція вимірювального генератора представлена на рисунку 2.3.

Конструкція генератору має форму паралелепіпеда, основні органи керування розташовані на передній панелі, присутній рідиннокристалічний індикатор з підсвічуванням.

1.5 Внутрішній опір батареї LiFePO₄ та зв'язок із терміном її служби

Вимірювання внутрішнього опору літєвих акумуляторів, зокрема LiFePO₄, є критично важливою процедурою, що забезпечує надійну роботу батареї та подовжує її термін служби.

Визначення внутрішнього опору дозволяє оцінити технічний стан елемента живлення та вчасно виявити ознаки деградації. Недооцінка цього параметра або використання спрощених методів вимірювання може призвести до хибних результатів і, як наслідок, до неефективної експлуатації або навіть пошкодження акумулятора.

1.5.1 Що таке внутрішній опір?

Внутрішній опір — це сукупність електричних опорів, що виникають у структурі акумулятора під час проходження струму. Він включає опір електродів, електроліту та межових контактів між матеріалами. У випадку LiFePO₄ батареї електрони та іони, рухаючись крізь шари матеріалів, стикаються з різними фізичними і хімічними бар'єрами. Це і спричиняє опір, який впливає на загальну продуктивність елемента.

Чому це важливо?

Точне вимірювання внутрішнього опору дає змогу:

- оцінити залишкову ємність та стан деградації батареї,

										КПТР.021020.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата							15

- спрогнозувати термін її служби,
- підібрати оптимальні умови заряджання/розряджання,
- запобігти перегріванню або пошкодженню при навантаженнях.

1.5.2 Складові внутрішнього опору

Внутрішній опір складається з кількох компонентів:

- Омичний опір (Ohmic Resistance) — опір струму в електродах, електроліті та з'єднаннях.
- Активаційна поляризація (Activation Polarization) — пов'язана з енергетичними витратами на запуск хімічних реакцій.
- Концентраційна поляризація (Concentration Polarization) — пов'язана з нерівномірним розподілом іонів під час руху через електроліт.

Останні два компоненти мають складну природу і часто потребують використання математичних моделей для їх оцінювання. У професійній практиці для цього застосовуються імпедансні спектроскопії та спеціалізовані моделі, що дозволяють розділити внесок кожного типу опору.

1.5.3 Внутрішній імпеданс літійової батареї

Внутрішній імпеданс літійової батареї складається з кількох ключових компонентів:

(1) Іонний опір

Це опір, який чиниться руху іонів у різних частинах батареї:

Електроліт у сепараторі (мембрані):

Визначається такими факторами, як:

- електропровідність електроліту,
- площа сепаратора,
- його товщина,
- пористість,

– ступінь звивистості пор.

Електроліт у позитивному електроді:

На нього впливають:

- провідність електроліту,
- товщина позитивного електрода,
- пористість,
- геометрія та структура пор (вигин, звивистість).

Електроліт у негативному електроді:

Аналогічно, залежить від:

- провідності електроліту,
- геометрії електрода,
- товщини,
- пористості та структурних особливостей.

(2) Електронний опір

Це опір електронному струму в різних провідних компонентах:

Активні матеріали обох електродів:

Впливові чинники:

- електропровідність матеріалу,
- товщина шару,
- загальна площа контакту.

Струмозбірники (мідна та алюмінієва фольга):

Важливі характеристики:

- товщина фольги,
- її ширина та довжина,
- кількість і розташування виступів (вкладок).

Підвідні провідники (виводи, полюси, з'єднання всередині елемента):

Визначальні параметри:

- геометричні розміри,

					<i>КПТР.021020.01.02 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		17

– матеріал і його провідність.

(3) Контактний опір між активним матеріалом та струмозбірником

Це опір на межах з'єднання матеріалів:

Контакт між катодним матеріалом і алюмінієвою фольгою

Контакт між анодним матеріалом і мідною фольгою

(4) Електрохімічний опір

Цей компонент описується еквівалентною електричною схемою, яка включає:

R_b — омичний опір (опір провідникам та електроліту),

C_d — ємність подвійного електричного шару,

R_{ct} — зарядотрансферний опір, пов'язаний із перебігом електрохімічної реакції,

R_w — дифузійний опір (відомий як імпеданс Варбурга), який виникає через масоперенесення іонів усередині електрода.

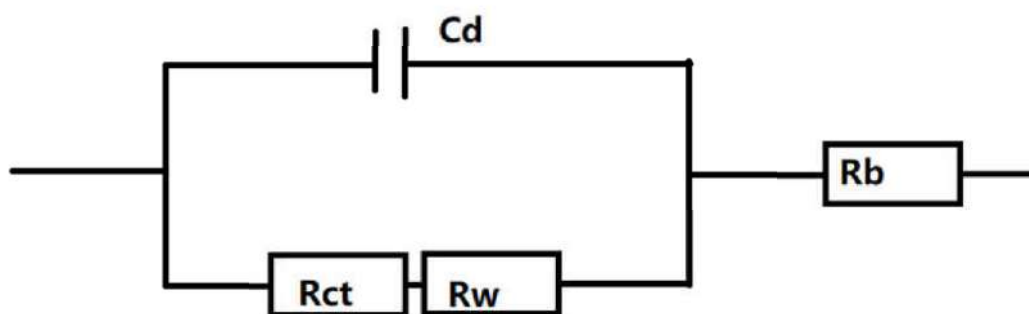


Рисунок 1.6 – Еквівалентна схема електроду

Загалом у процесі інтеркаляції та екстракції іонів літію значення омичного опору (R_b) змінюється незначно, натомість параметри, як-от ємність подвійного шару (C_d) та опір зарядоперенесення (R_{ct}), зазнають суттєвіших коливань.

Внутрішній опір звичайних літій-залізо-фосфатних акумуляторів зазвичай становить від 0,6 до 1 Ом. Проте для ефективної роботи батареї бажано, щоб

цей опір був якнайменший. Досягти абсолютно нульового внутрішнього опору неможливо через технологічні обмеження у виробництві та низку інших факторів. У якісних LiFePO₄-батареях внутрішній опір зазвичай становить від 0,15 до 0,3 Ом або навіть менше.

1.6 Вольтамперна діаграма LiFePO₄ та зв'язок її з State-of-Charge (SOC)

Номінальна напруга використовується для опису характеристик акумулятора, які визначаються в стандартних умовах: при температурі 25°C, рівні заряду близько 50% та помірному навантаженні. Проте фактичне значення напруги може змінюватися в залежності від ступеня заряду батареї.

Для LiFePO₄ елемента номінальна напруга зазвичай становить близько 3,2 вольт. Це значення служить орієнтиром при порівнянні батарей та проектуванні енергетичних систем. При повному заряді напруга одного елемента може досягати 3,6–3,65 вольт, тоді як при повному розряді вона знижується до приблизно 2,5–2,8 вольт. Саме ці одиничні елементи є базовими компонентами будь-якої LiFePO₄ батареї.

Для контролю стану заряду (State of Charge, SOC) LiFePO₄ акумуляторів широко застосовується аналіз кривої зміни напруги. На графіку напруги видно, що при наблизенні батареї до повного заряду її напруга стабілізується в діапазоні 3,6–3,7 вольт на елемент, що дає змогу більш точно визначати рівень заряду та забезпечувати надійну експлуатацію.

					<i>КПТР.021020.01.02 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		19

3.2 LiFePO₄ Cell Voltage Chart

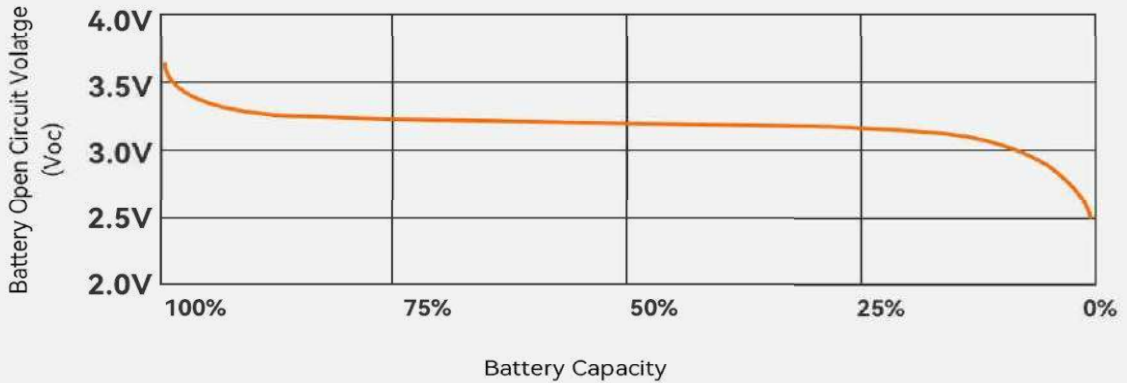


Рисунок 1.7 – Графік заряд-розряду комірки LiFePo₄ акумулятора

12V LiFePO₄ Battery Voltage Chart

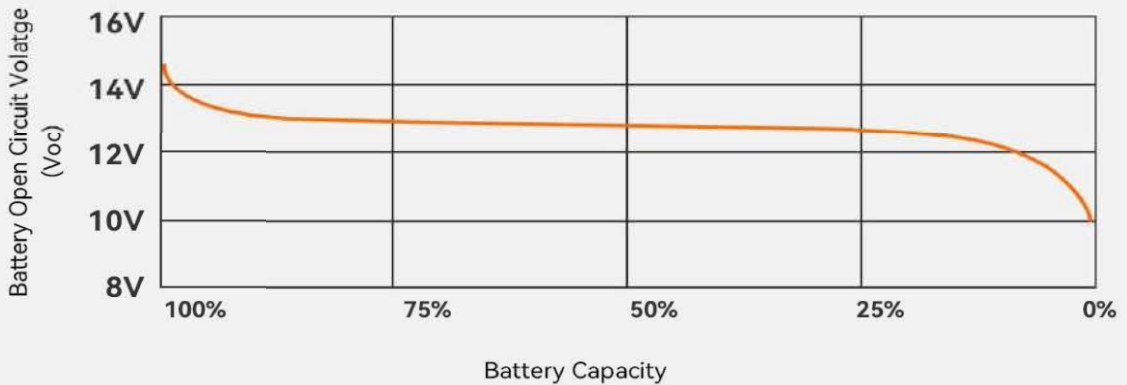


Рисунок 1.8 – Графік заряд-розряду 12В LiFePo₄ акумулятора

Щоб збільшити загальну напругу або ємність акумулятора, окремі елементи LiFePo₄ з'єднують послідовно — це позначається літерою «s». В такому з'єднанні напруги окремих елементів сумуються, формуючи підсумкову напругу всієї батареї.

Наприклад, стандартна 12-вольтна батарея LiFePo₄ складається з 4 послідовно з'єднаних осередків (4s). Кожен з них має номінальну напругу близько 3,2 В, тому сумарна номінальна напруга батареї становить 12,8 В ($4 \times$

3,2 В). При повному заряді напруга кожного елемента може піднятися до 3,65 В, що дає максимальну заряджену напругу батареї близько 14,6 В.

Подібним чином батарея на 24 В складається з 8 послідовно з'єднаних осередків (8s), з номінальною напругою 25,6 В, а при повному заряді — близько 29,2 В. Аналогічно, 48-вольтна батарея має 16 послідовно з'єднаних елементів (16s), що дає номінальну напругу 51,2 В і максимальну заряджену напругу близько 58,4 В.

Крім того, акумулятори можна об'єднувати в паралельні або змішані послідовно-паралельні конфігурації, щоб збільшити загальну ємність або добитися необхідної щільності енергії для систем резервного живлення чи інших застосувань.

Важливо розуміти різницю між глибиною розряду (Depth of Discharge, DoD) та ступенем заряду (State of Charge, SoC). Якщо DoD показує, яку частину заряду було використано (в відсотках від повної ємності), то SoC відображає, скільки заряду залишилось. Формально, $SoC = 100\% - DoD$. Наприклад, якщо для досягнення терміну служби акумулятора у 6000 циклів рекомендується не розряджати батарею більше, ніж на 80%, це означає, що варто заряджати її, коли SoC опускається до 20% або нижче. Це допомагає продовжити життєвий цикл батареї.

1.7 Перевірка напруги LiFePo₄ для визначення рівня SoC батареї

Деякі батареї LiFePo₄ оснащені вбудованими моніторами та індикаторами, які відображають напругу і ступінь заряду (SoC). Це дуже зручно, оскільки дозволяє швидко перевірити стан батареї без додаткових приладів.

Більш точні показники можна отримати за допомогою спеціального монітора батареї. Він безперервно вимірює напругу і струм, розраховуючи рівень заряду шляхом відстеження енергії, що надходить до акумулятора та виходить з нього. Використання такого монітора допомагає отримати детальну

					<i>КПТР.021020.01.02 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		21

інформацію про стан і продуктивність акумулятора, що важливо для його довгострокового обслуговування та підтримки.

Для самостійного вимірювання напруги холостого ходу (без навантаження) батареї LiFePo4 за допомогою мультиметра потрібно:

- Відключити всі навантаження та зарядні пристрої від акумулятора.
- Дати батареї «відпочити» 15-30 хвилин, щоб напруга стабілізувалась.
- Виміряти напругу на клеммах батареї мультиметром.
- Порівняти отримані результати з типовим графіком напруги LiFePo4

для визначення ступеня заряду (SoC).

Таким чином, ви отримаєте помірно точну оцінку стану заряду акумулятора.

Таблиця 1.1 – Залежність напруги та рівня заряду

SoC%	Напруга комірки, В	12В (4s)
100.00%	3.65	14.6
99.50%	3.45	13.8
99.00%	3.38	13.52
90.00%	3.35	13.4
80.00%	3.33	13.32
70.00%	3.30	13.2
60.00%	3.28	13.12
50.00%	3.26	13.04
40.00%	3.25	13.00
30.00%	3.23	12.92
20.00%	3.20	12.8
15.00%	3.05	12.2
5.00%	2.80	11.2
0.00%	2.50	10.0

1.8 Обладнання та інструменти для виконання операції з тестування стану батарей

Для перевірки внутрішнього опору батареї LiFePo₄ потрібне спеціальне обладнання. Найпростіший інструмент — мультиметр, який вимірює електричний струм і напругу у ланцюгах. Для підключення мультиметра до акумулятора використовуються тест-провідники (щупи), які повинні бути надійно закріплені на клеммах батареї.

Перед початком тестування важливо переконатися, що всі з'єднання між компонентами міцні й надійні, адже це впливає на точність вимірювань. Перевірена практика підготовки батареї до тестування має велике значення для отримання достовірних результатів.

1.8.1 Проведення тесту внутрішнього опору акумулятора LiFePo₄

Процес вимірювання внутрішнього опору акумулятора потребує спеціалізованого обладнання — омметра або мультиметра, призначеного для таких тестів. Для отримання точних результатів важливо дотримуватися встановленої процедури при використанні будь-якого типу приладів.

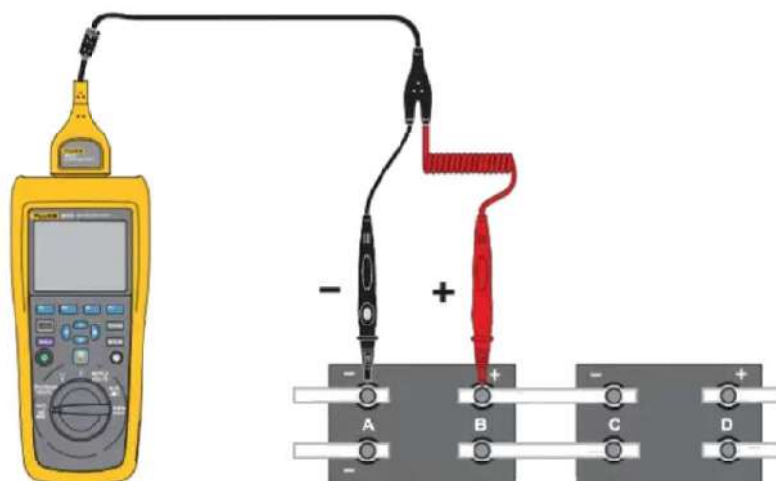


Рисунок 1.9 – Типова схема підключення батареї або її сегменту до вольтметра

1.8.2 Фактори, що впливають на результати тесту на внутрішній опір

Вплив факторів на точність вимірювання внутрішнього опору батареї LiFePo4

Точне визначення внутрішнього опору батареї LiFePo4 може бути ускладнене через вплив різних факторів, таких як температура, вік, кількість циклів заряджання-розряджання та глибина розряду. У таблиці наведено основні впливи цих факторів на результати тестування:

Таблиця 1.5 – Узагальнення факторів впливу

Фактор	Вплив
Температура	Вищі температури зменшують опір, але під час тестування показники зростають
Вік	Зі старінням батареї внутрішній опір збільшується
Кількість циклів	Більша кількість циклів заряджання/розряджання призводить до збільшення опору
Глибина розряду	Глибокий розряд збільшує внутрішній опір через зміни хімічного складу

Пояснення впливів:

Температура: Вища температура покращує провідність електронів всередині акумулятора, що зменшує опір для протікання струму. Проте при вимірюванні це може призводити до вищих показників опору.

Вік батареї: З часом ємність акумулятора знижується, що відображається на зростанні внутрішнього опору.

Цикли заряджання/розряджання: Накопичення різних відкладень на електродах збільшує ізоляцію та підвищує опір.

Глибина розряду: Глибокі розряди спричиняють зміни в хімічному складі елементів, що підвищує імпеданс.

Висновок:

Хоча ці фактори впливають на показники внутрішнього опору, правильне проведення тестування з урахуванням їх природи дозволяє отримувати достовірні та точні дані. Знання цих змінних допомагає тестувальнику обирати оптимальні методи вимірювання та коректно інтерпретувати результати.

1.8.3 Альтернативні методи виявлення стану батареї

1.8.4 Методи тестування батареї LiFePo₄

Внутрішній опір часто вважається золотим стандартом при тестуванні батарей LiFePo₄, оскільки він дає важливу інформацію про стан акумулятора та його здатність ефективно працювати. Проте існують й інші методи тестування, які можуть доповнити дані про продуктивність батареї та надати більш повну картину її стану.

Основні альтернативні методи тестування акумуляторів включають:

- Тестування імпедансу акумулятора:

Цей метод вимірює складний електричний опір, що враховує як омичні, так і реактивні компоненти внутрішнього опору батареї. Він дозволяє отримати більш детальну інформацію про хімічні та фізичні процеси всередині акумулятора.

- Тестування електричним навантаженням:

Полягає у підключенні акумулятора до контрольованого навантаження для спостереження за змінами напруги і струму під час розряду. Цей метод допомагає оцінити реальну продуктивність батареї при робочих умовах.

- Тестування утримання заряду (self-discharge test):

Визначає, наскільки добре батарея утримує заряд протягом часу, вимірюючи зниження напруги або ємності при відсутності навантаження. Це важливо для оцінки довговічності та якості акумулятора.

										КПТР.021020.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата							25

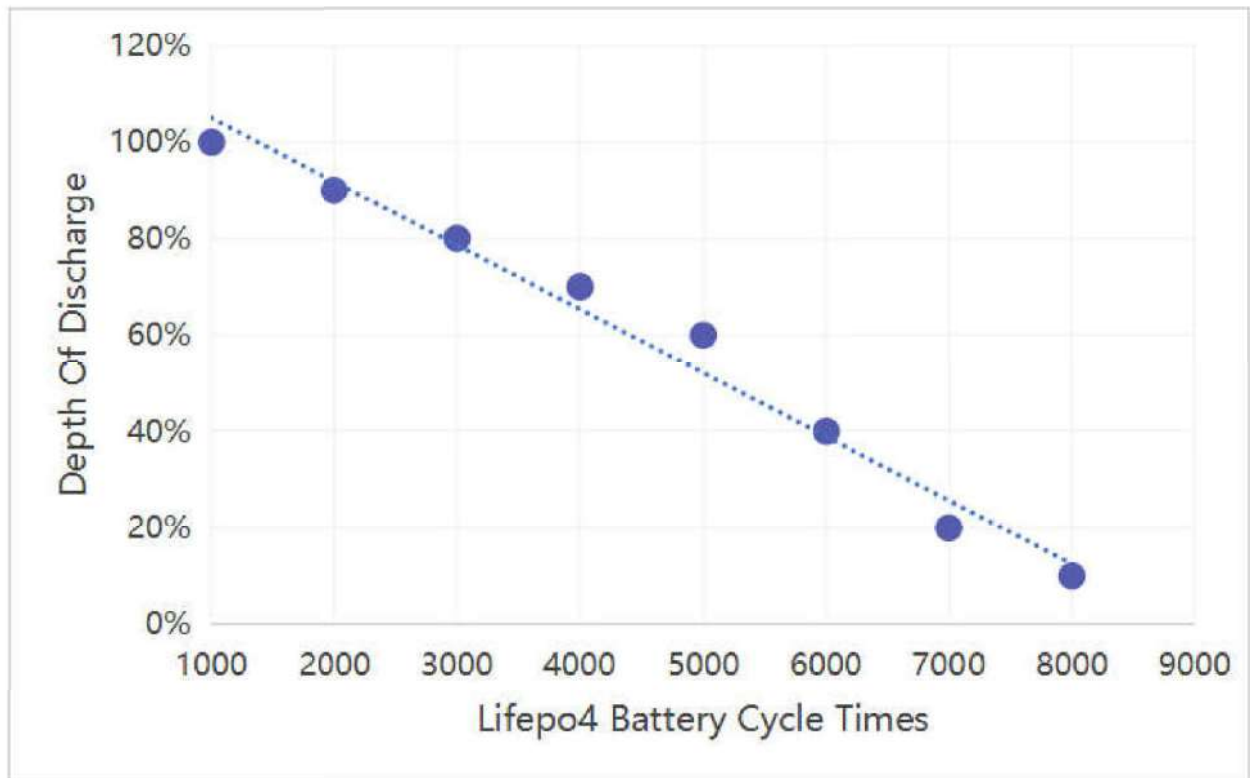


Рисунок 1.10 – Життєвий цикл батареї та глибина розряду

- Моніторинг напруги елементів у батареї LiFePo4

Моніторинг напруги окремих елементів батареї LiFePo4 — це ефективний спосіб оцінити її продуктивність у порівнянні з аналогами. Цей метод полягає у відстеженні кількості енергії, що витрачається або зберігається протягом певного часу, що дає змогу зрозуміти, чи здатна батарея виконувати поставлені завдання.

Переваги методу:

Дає реальне уявлення про стан кожного елемента в батареї.

Дозволяє легко порівнювати різні бренди чи моделі перед вибором оптимального варіанту.

Допомагає визначити потенційні проблеми або слабкі місця в акумуляторній системі.

Варто пам'ятати, що хоча альтернативні методи тестування не завжди є необхідними, вони слугують корисними інструментами для кращого контролю

над джерелами живлення та забезпечення їх стабільної роботи під навантаженням.

1.9 Основні технічні показники аналога і нової розробки

У якості аналогів розробленому пристрою, розглянемо аналогічні пристрої.

Основні технічні показники аналога і нової розробки наведені в таблиці 1.3.

З таблиці 1.3 видно, що вимірювач за технічними параметрами не поступаються аналогам, а їх продуктивність значно краще.

Таким чином, при використанні сучасних напівпровідникових елементів, заснованих на польових технологіях, можна домогтися необхідних результатів з мінімальними витратами.

Таблиця 1.3 – Основні технічні показники аналогів

№ з/п	Найменування	Фото	Опис параметрів	Вартість
1	Тестер акумуляторних батарей 12В LAUNCH BST-560 [10]		Прилад підтримує 6 типів вимірювань: - Визначення пульсації напруги; - Визначення відносної електропровідності; - Тест системи зарядки АКБ; - Тест АКБ; - Тест системи запуску; - Тест напруги.	5586,00 грн

№ з/п	Найменування	Фото	Опис параметрів	Вартість
2	Тестер-аналізатор АКБ (цифровий) TRISCO IBA-300 [11]		<p>Сучасний аналізатор акумуляторів TRISCO IBA-300 розрахований на тестування 12-вольтів акумуляторних батарей в режимі роботи мотора і при заглушеному двигуні. У прилад вбудований мініпринтер для роздрукування результатів тестування АКБ.</p> <p>Прилад дозволяє проводити наступні тести: - тест АКБ - тест стартера - тест зарядки АКБ - тест пікового навантаження.</p> <p>Тестує 4 типи батарей: WET (акумулятор з рідким електролітом), AGM (свинцево-кислотний електричний акумулятор), AGM Spiral (герметичний спіральний AGM акумулятор), Gel batteries (гелевий акумулятор).</p>	17708,00 грн
3	ER-Tester YR1030+ для вимірювання внутрішнього опору LiFePO4, Li-ion, Pb [12]		<p>Вимірювач внутрішнього опору джерела струму (імпедансу) YR1030+.</p> <p>Вбудований акумулятор, автоматичне та ручне визначення діапазонів вимірювання опору та напруги.</p> <p>Діапазон вимірювання опору 0.01mOm..200Om, діапазон вимірювання напруги 0,001V..28V Цифровий LCD дисплей.</p>	2610,00 грн
4	Адаптивний пристрій контролю рівня заряду батареї живлення		<p>Вимірювання напруги до 56 В.</p> <p>Вимірювання струму до 20..100 А</p> <p>Запис значень протягом тривалого часу</p>	8000,00 грн

Таблиця 1.4 - Основні технічні показники аналога і нової розробки

Показники	Одиниця виміру	Аналог	Нова розробка	Відношення параметрів нової розробки до параметрів аналога
Капітальні вкладення	грн.	17708,00	8000,00	2,2135
Експлуатаційні витрати	грн./рік.	1870	1386	1,3
Споживана потужність	<i>Вт</i>	30	40	0,75
Похибка виміру	А, V	5	2,5	2
Час виміру	мс	0,1	від 0,1 до 4 години	1
Маса	кг	2	2	1

Пристрій, що розробляється, може бути використано в якості пристрою для проведення лабораторних і практичних занять для студентів різних спеціальностей.

Розробляючи цей пристрій для промисловості, поставлено декілька цілей:

- максимально звести до мінімуму помилки в роботі пристрою;
- максимальна автоматизація процесу вимірювання;
- мінімізація витрат на обслуговування.

Висновки з розділу

1. Спроекований пристрій в сучасних умовах є досить доцільним і ефективним. Забезпечується покращання технічних характеристик: похибок вимірювання, масо-габаритних показників і т.д. Поряд з покращанням технічних характеристик, пристрій забезпечує також економію за питомими капіталовкладеннями та експлуатаційними витратами.

2. Таким чином, для оцінювання стану акумуляторної батареї та готовності її до подальшої роботи, слід володіти технічними можливостями виконувати вимірювання напруги на батареї безперервно. Слід також аналізувати поточний робочий стан для виявлення як режимів заряду, розряду та режим простою.

					<i>КПТР.021020.01.02 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		30

2 ПРОЕКТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ РІВНЯ ЗАРЯДУ

2.1 Конструкторський аналіз технічного завдання

2.1.1 Аналіз вимог ТЗ

Пристрій застосовується в галузі професійній апаратурі і призначений для вимірювання постійної напруги, сили струму та запису отриманої інформації для подальшого аналізу.

На передню панель повинно бути винесено органи керування пристроєм та індикацію, а також кнопки керування. На задній панелі повинно бути розміщено роз'єкти для підключення пристроїв спряження з ЕОМ – USB вихід.

Розміри блоку повинні бути по можливості мінімальними. Даний пристрій повинен бути виконаний у вигляді моноблочної конструкції.

Автоматизований комплекс повинен витримувати впливи у відповідності з ГОСТ 11478-88 "Наземна професійна апаратура. Норми і методи випробувань на вплив зовнішніх механічних і кліматичних чинників".

Прилад повинен відповідати наступним вимогам надійності:

Середній строк напрацювання на відмову $T_{сер}$, год	5000
Термін служби $T_{сл}$, в роках	5
Маса виробу не повинна перевищувати, кг	2.5 кг.

2.1.2 Аналіз конструкції

Конструкція вимірювального комплексу повинна мати інформаційну виразність, раціональність форми, цілісність композиції. На пристрої повинні бути нанесені чіткі написи, які пояснюють призначення органів керування і пристроїв перемикачів, а також органів спряження.

					КПТР.021020.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		31

Пристрій повинен задовольняти наступним вимогам до технологічності та уніфікації:

- коефіцієнт щільності >0.7
- коефіцієнт просторового заповнення блоку >0.5
- коефіцієнт використання типових технологічних процесів >0.9
- коефіцієнт автоматизації технологічних процесів >0.8
- коефіцієнт застосування друкованого монтажу >0.9
- коефіцієнт використання ІС >0.7

Вимірювальний пристрій не повинен вимагати додаткового технічного обслуговування після його транспортування або зберігання перед початком експлуатації. Прилад не повинен вимагати періодичного технічного обслуговування під час експлуатації.

Рішення про річний обсяг виробництва приладів повинно бути прийняте після проведення маркетингових досліджень, при цьому потрібно врахувати, що придбання і використання повинно здійснюватись після отримання відповідної ліцензії.

Вимірювальний комплекс повинен бути сконструйований та виготовлений таким чином, щоб при його нормальній експлуатації, а також в умовах несправностей не створювалась небезпека здоров'ю для користувача навіть у разі недбалого поводження з приладом.

					<i>КПТР.021020.01.02 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		32

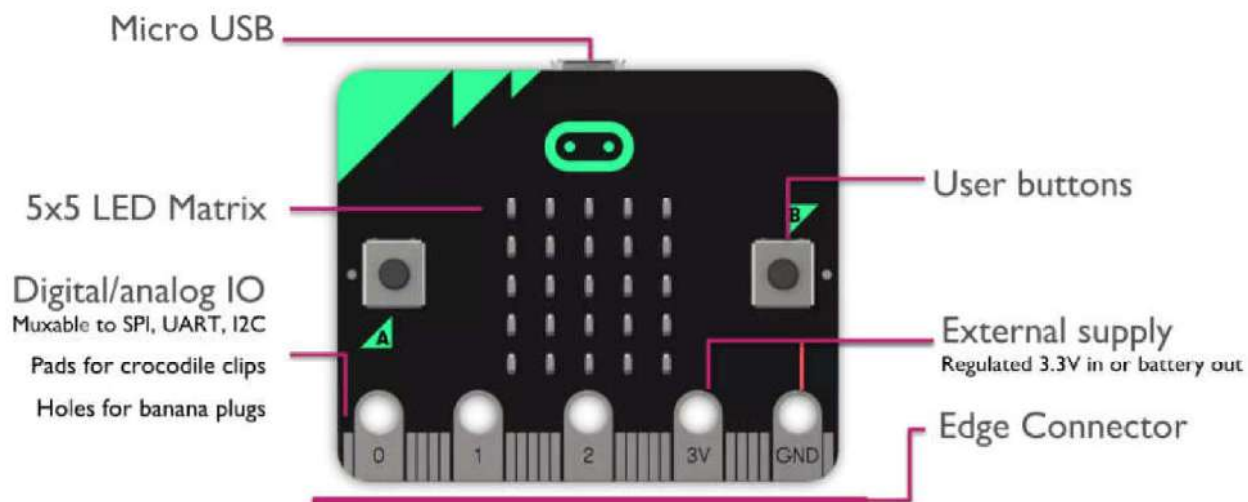


Рис. 2.2. Плата Micro:bit, вигляд спереду

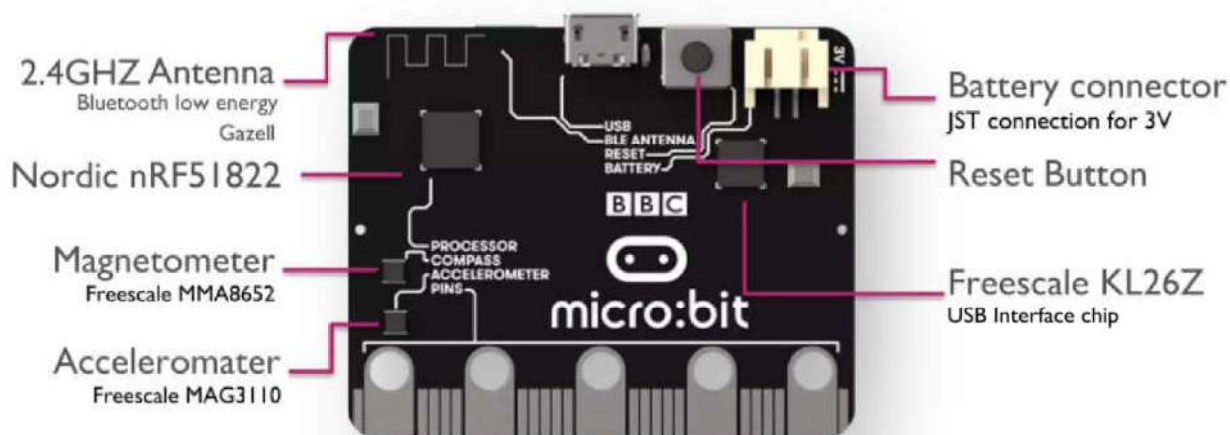


Рис. 2.3. Micro:bit вид ззаду

Також є 2 кнопки для введення, у самому програмному забезпеченні для введення доступний жест «струшування», світлодіодна матриця 5x5, і 4 «великих» піни, розрахованих на те, щоб спростити процес підключення інших пристроїв до контролера в найпростішій конфігурації.

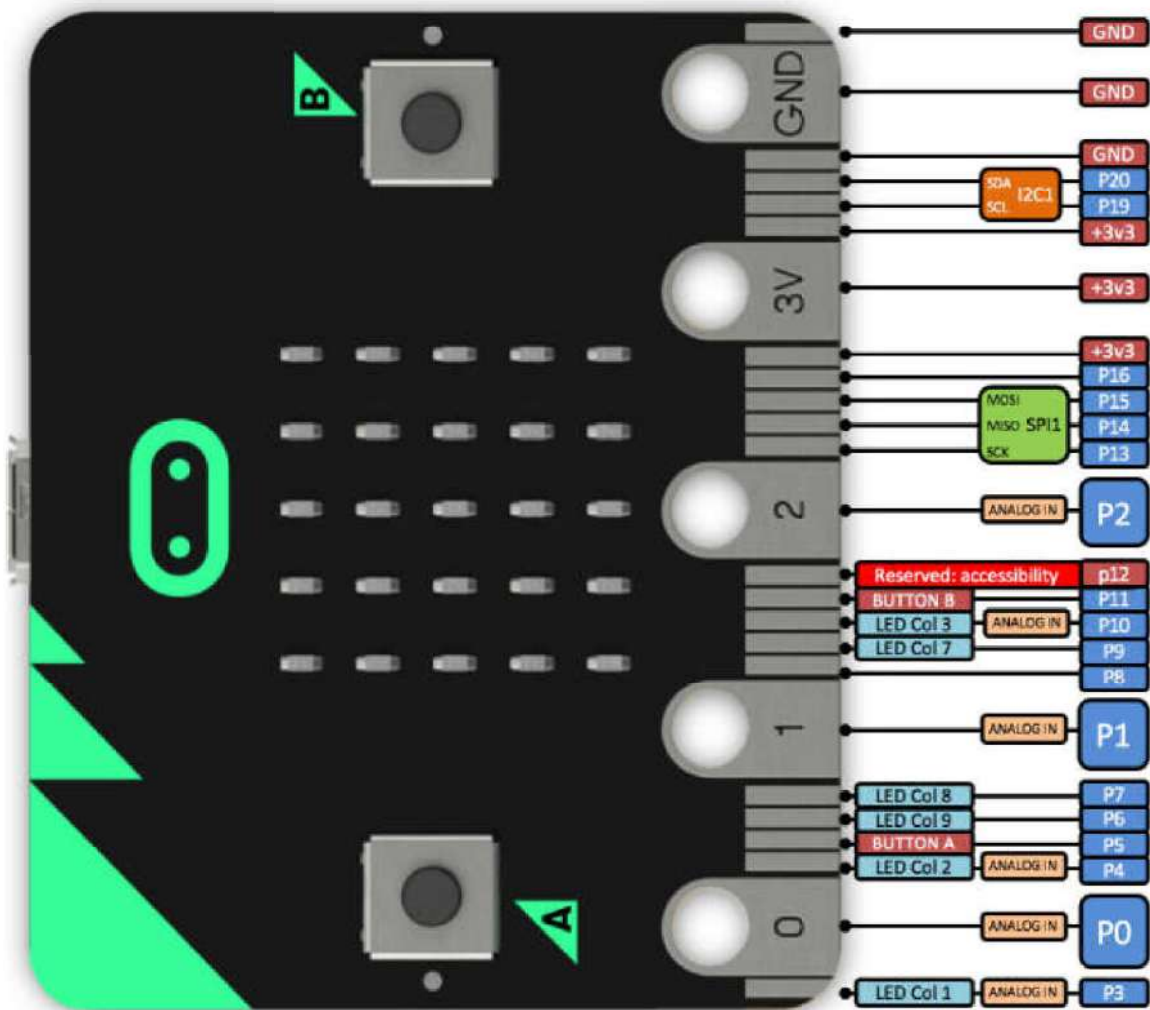


Рис. 2.4. Порти вводу-виводу micro:bit

Контактна гребінка пінів (рис. 2.5) зроблена плоскою, тож її можна вставити в плату розширення (рис. 2.6). Цікавим моментом є те, що на сайті Micro:bit можна знайти рекомендації щодо побудови власних плат розширення на основі звичайного PCI-роз'язтя від «старої» плати персонального комп'ютера. Тобто Micro:bit направлений не тільки на навчальні заклади, а також закладено можливості інтеграції у пристрої як демонстраційні так і пристрої кінцевого користувача.

Для нашого проекту цей контролер дозволяє зменшити вартість створення пристрою в цілому, оскільки цифрова частина – контролер, вже виробляється масово за прийнятною ціною.

Створення пристрою вже вимагає створення лише силової частини

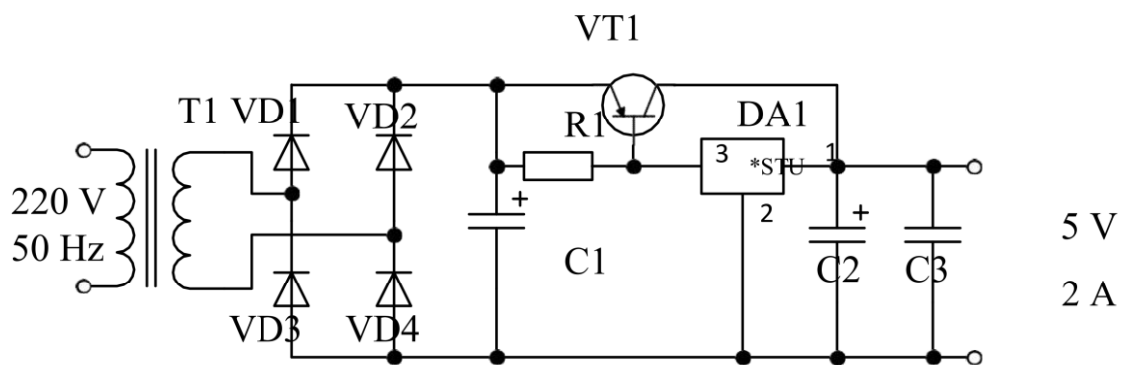
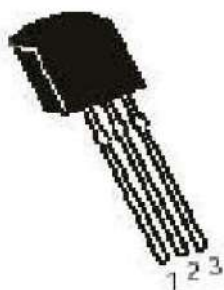


Рисунок 2.6. – Схема електрична принципова блоку живлення



pin 1.Output
2.Ground
3.Input

Рисунок 2.7. – Стабілізатор живлення LM78L05.

Таблиця 2.1 – Основні параметри стабілізатора

Параметр	Обозначение	Значение
Входное напряжение	U_I	30 В
Выходное напряжение	U_O	5 В
Выходной ток	I_O	100 мА
Падение на стабилизаторе	U_D	1.7 В
Ток потребления	I_Q	6.5 мА

Для забезпечення підвищеного струмового навантаження схеми використовуємо біполярний транзистор р-п-р типу BD436, з параметрами:

$$U_{KЭ} = -32 \text{ В}, I_K = -4 \text{ А}, (h_{FE}) = 50-140.$$

Для забезпечення нормальної роботи інтегрального стабілізатора напруга на його вході не повинна бути меншою за значення:

$$U_{IN} = U_{OUT} + U_D,$$

де U_D – напруга відключення стабілізатора, що дорівнює 1,7 В.

$$U_{IN} = 15 + 1,7 = 16,7\text{В.}$$

Для забезпечення вихідного струму I_{OUT} , що дорівнює 2 А, транзистором VT1, який має коефіцієнт підсилення 50, необхідно забезпечити струм бази, що дорівнює:

$$I_B = \frac{I_{OUT}}{\beta} = \frac{2}{50} = 0,04 \text{ А.}$$

При цьому напруга на база-емітерному переході становитиме 1,1 В (за вхідною характеристикою транзистора).

Для забезпечення цієї напруги використовується резистор R1, опір якого може бути розрахований за виразом:

$$R1 = \frac{U_{БЭ}}{I_{IN} - I_B},$$

де I_{IN} – вхідний струм DA1, визначений з розрахунку 75 % від максимального: $I_{IN} = 100 \text{ мА} \cdot 75\% = 75 \text{ мА}$.

$$R1 = \frac{1,1}{75 - 40 \times 10^{-3}} = 30 \text{ Ом.}$$

Мінімальна напруга на вході стабілізатора визначається:

					КПТР.021020.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		38

$$U_{1\text{MIN}} = U_{IN} + U_{БЭ} = 16,7 + 1,1 = 17,8 \text{ В.}$$

Ця напруга є мінімальною для забезпечення роботи схеми.

Для розрахунку ємності конденсатора С1 при $\Delta t=10$ мс (пульсація двопівперіодної напруги 50Гц), задамо рівень напруги пульсації в межах 1-2 В. Задамо $U_{П}=1,5$ В:

$$C1 \geq \frac{I_H \Delta t}{U_{П}} = \frac{2 \cdot 0,01}{1,5} = 13000 \text{ мкФ.}$$

З урахуванням пульсації випрямленої напруги 1,5 В, вхідна напруга матиме значення:

$$U_1 = U_{1\text{MIN}} + U_{П} = 17,8 + 2 = 19,8 \text{ В.}$$

Вибираємо випрямні діоди з умови: $I_{ПР} > 0,6 I_H$; $U_{ОБ} > 1,5 U_1$

$$I_{ПР} > 0,6 \cdot 2 = 1,2 \text{ А} \quad U_{ОБ} > 1,5 \cdot 19,8 = 30 \text{ В.}$$

В якості елементів VD1-VD4 обираємо діоди серії 1N5400 з параметрами:
 $I_{ПР} = 3 \text{ А}$, $U_{ОБ} = 50 \text{ В}$, $U_{ПР} = 1,2 \text{ В}$.

2.4.2 Розрахунок трансформатора живлення

Діюча напруга на виході трансформатора з урахуванням падіння на діодах визначається виразом:

$$U_T = \frac{U_1 + 2 \cdot U_{ПР}}{\sqrt{2}};$$

					КПТР.021020.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		39

$$U_T = \frac{19,8 + 2 \cdot 1,2}{2} = 15,7 \text{ В.}$$

Коефіцієнт трансформації трансформатора Т1 визначаємо за найгірших умов – понижене вхідне живлення.

Прийmemo $U_C = U_{C \text{ MIN}} = 198 \text{ В}$, тоді коефіцієнт трансформації обрахуємо за виразом:

$$k_{TP} = \frac{U_{C \text{ MIN}}}{U_T};$$

$$k_{TP} = \frac{198}{15,7} \approx 13.$$

Для другої найгіршої умови приймаємо навпаки підвищену напругу.

Нехай вхідна напруга складає $U_C = U_{C \text{ MAX}} = 242 \text{ В}$, тоді з урахуванням коефіцієнта трансформації, вихідна напруга трансформатора буде дорівнювати:

$$U_{T \text{ max}} = \frac{U_{C \text{ MAX}}}{k_{TP}} = \frac{242}{13} = 18,6 \text{ В.}$$

При цьому максимальна напруга на конденсаторі С1 складе:

$$U_{1 \text{ MAX}} = U_{T \text{ MAX}} \cdot \sqrt{2} - 2 \cdot U_{PP};$$

$$U_{1 \text{ MAX}} = 18,6 \cdot \sqrt{2} - 2 \cdot 1,2 = 24 \text{ В.}$$

					<i>КПТР.021020.01.02 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		40

2.4.3 Потужність, що виділяється на стабілізаторі

Максимальна потужність, що виділяється на стабілізаторі, визначається як:

$$P_{CT} = U_{1MAX} - U_{OUT} \cdot I_{IN};$$

$$P_{CT} = 24 - 15 \cdot 0,075 = 0,675 \text{ Вт.}$$

Для розсіювання такої потужності не потрібно використовувати примусове охолодження. Отже пристрій може працювати за умов пасивного охолодження, що спрощує як конструкцію в цілому, так і не потребує додаткового живлення для вентиляторів.

2.4.4 Параметри вхідних конденсаторів

Визначаємо параметри ємнісних фільтрів відповідно до номінальних значень ємності конденсаторів і напруги:

Для C1, з урахуванням запасу по напрузі в 1,5 рази, номінальна напруга визначається як:

$$U_{C1} > U_{1MAX} \cdot 1,5 = 24 \cdot 1,5 = 36 \text{ В.}$$

Найближче велике значення номінальної напруги 50 В. Для реалізації вхідного фільтра використано електролітичний конденсатор фірми SAMWHA серії HC ємністю 15 000 мкФ і напругою 50 В.

Ємність конденсаторів C2 і C3 визначається від ємності конденсатора C1 за виразами:

					КПТР.021020.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		41

$$C2 = \frac{15000}{10} \frac{1}{20} = \frac{C1}{15} = 1000 \text{ мкФ};$$

$$C3 = \frac{1000}{100} \frac{1}{500} = \frac{C2}{250} = 4 \text{ мкФ}.$$

Номинальна напруга для конденсаторів C2 і C3 буде дорівнювати:

$$U_{C2 \ C3} > U_{OUT} \cdot 1,5 = 22,5 \text{ В}.$$

В якості C2 вибираємо використаний електролітичний конденсатор фірми SAMWHA серії HC ємністю 1000 мкФ і напругою 25 В. В якості конденсатора C3 вибираємо керамічний конденсатор фірми muRata ємністю 4,7 мкФ і напругою 50 В.

2.5 Датчик струму ACS712

У якості датчику струму використано готовий вимірювальний модуль на базі датчика струму ACS712 (рис. 2.8), який використовує ефект Холла. Датчик забезпечує вимірювання сили струму від +30А до -30А. Сила струму в 0 ампер відповідає вихідній напрузі від датчика в 2,5 В.

Allegro™ ACS712 забезпечує економічні та точні рішення для вимірювання змінного або постійного струму в промислових, комерційних та комунікаційних системах. Конструкція пристрою дозволяє легко впроваджувати його в роботу. Типові області застосування включають управління двигунами, виявлення та управління навантаженням, імпульсні джерела живлення та захист від перевантаження. Пристрій не призначений для використання в автомобілях.

						КПТР.021020.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата			42

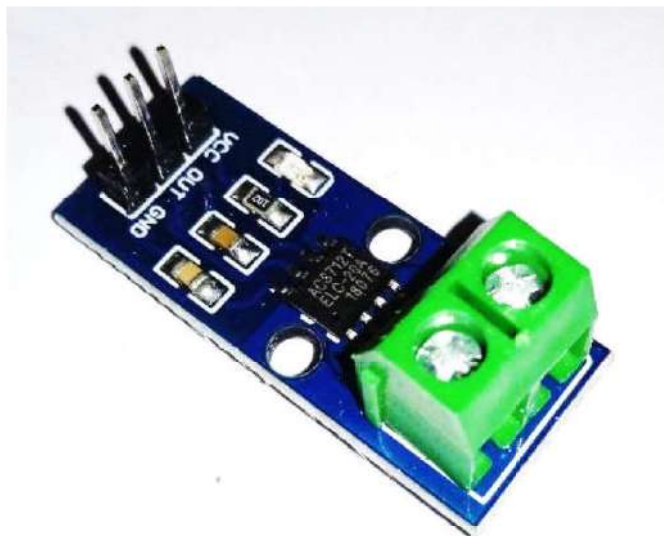


Рисунок 2.8. – Датчик струму ACS712 (готовий модуль)

Пристрій складається з точної лінійної схеми Холла з низьким зміщенням з мідним провідним шляхом, розташованим поблизу поверхні кристала – рисунок 2.9.

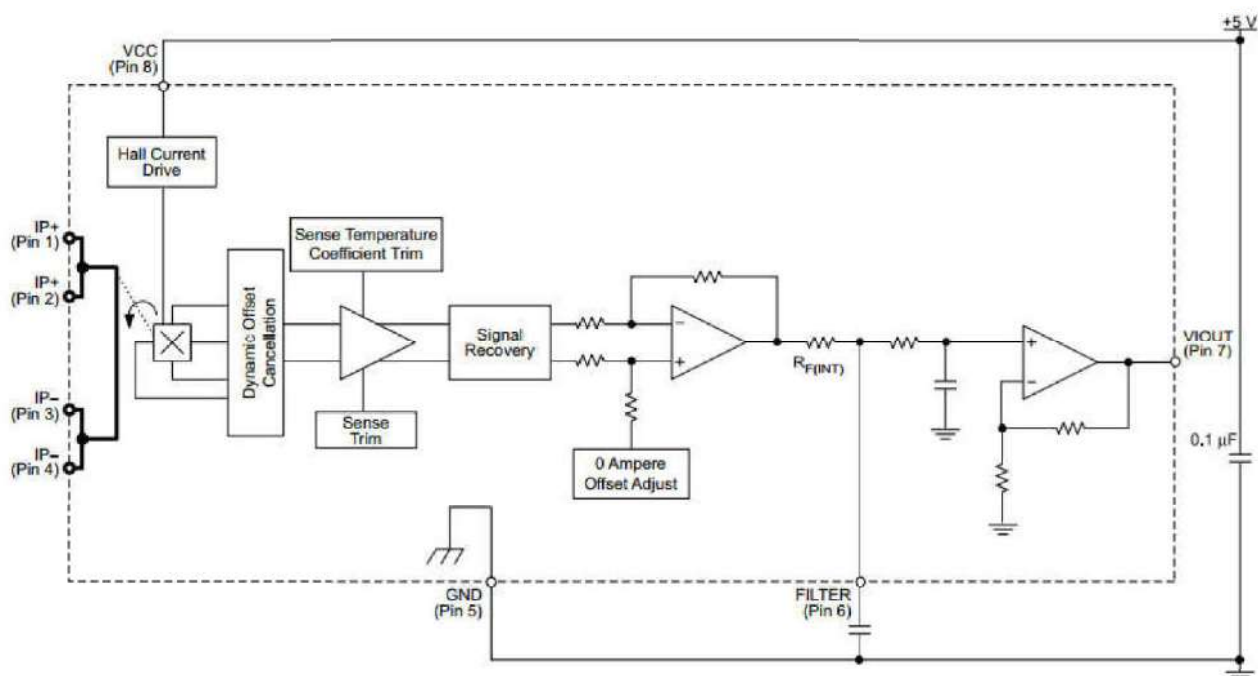


Рисунок 2.9. – Структурна схема датчику струму ACS712

де $V_{IOUT_full-scale \text{ amperes}}$ = вихідна напруга (V), коли вимірний струм наближається до повної шкали $\pm I_P$.

Наступним важливим параметром є динамічні характеристики вимірювача, оскільки датчик струму має вимірювати струм під час навантаження.

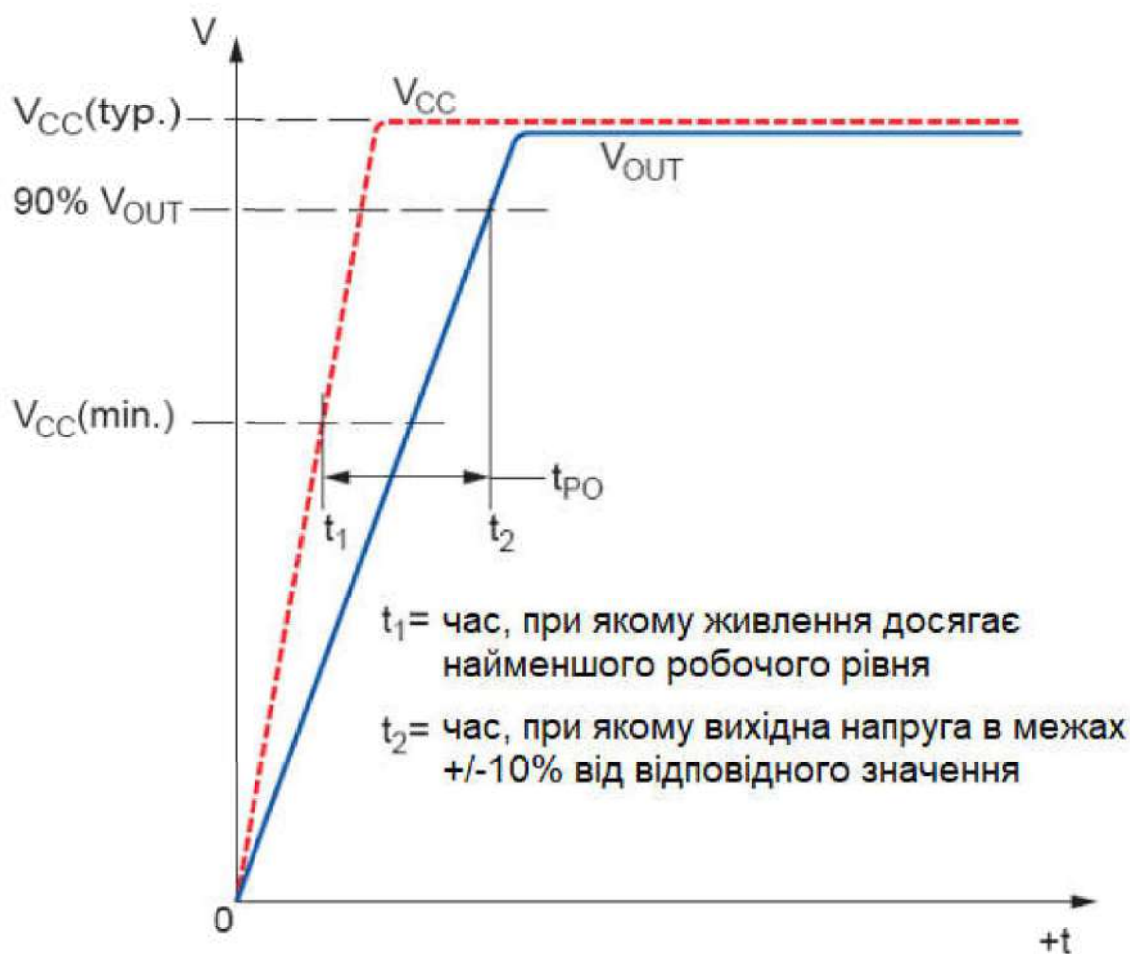


Рисунок 2.12. – Графік включення датчику струму

Час увімкнення (t_{PO}). Коли напруга живлення досягає робочого значення (рис. 2.12), пристрою потрібно певний час, щоб забезпечити живлення внутрішніх компонентів, перш ніж він зможе реагувати на вхідне магнітне поле. Час увімкнення, t_{PO} , визначається як час, необхідний для стабілізації вихідної напруги в межах $\pm 10\%$ від її стаціонарного значення під дією

прикладеного магнітного поля після того, як джерело живлення досягло мінімальної заданої робочої напруги, $V_{CC}(\min)$, як показано на графіку праворуч.

2.6 Вимірювання напруги та струму

Отже, для вимірювання струму використовується інтегральний датчик Allegro ACS712. В залежності від очікуваного рівня струму, використовується модель на 5 А, 10 А, 20 А або більше значення.

Для вимірювання струмів, відомо дві схеми. Перша схема (рис. 2.13) використовується для вимірювання змінного струму. Наприклад, для струму частотою 50 Гц.

На діоді VD1 та конденсаторі C1 побудований найпростіший випрямляч. Проте така схема, як було показано вище, використовується тільки для змінного струму. При необхідності вимірювання постійного струму або струму, що змінюється повільно, застосування цієї схеми не можливе.

Другий варіант схеми (рис. 2.14) використовує операційний підсилювач для виконання додаткової операції – зменшення або збільшення чутливості датчику струму.

Центральний модуль вимірювання побудований на 3,3 В логиці, а датчик струму має 5,0 В живлення. Крім того, вихідний сигнал датчику струму складає 2,5 (або 0,5 від напруги живлення датчику) при струму 0 А. Таким чином, вихідний сигнал в діапазоні 0-2,5 В відповідає від'ємним значенням струму, а сигнал 2,5-5,0 додатному значенню струму. Проте перевищення рівня 3,3 В є небезпечним для мікроконтролера.

Отже, операційний підсилювач має обмежити напругу на рівні 0,0 – 3,0 В. По друге, зсунути рівень нуля з 2,5 В до рівня 1,65 В (половина від 3,3 В).

										КПТР.021020.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата							48

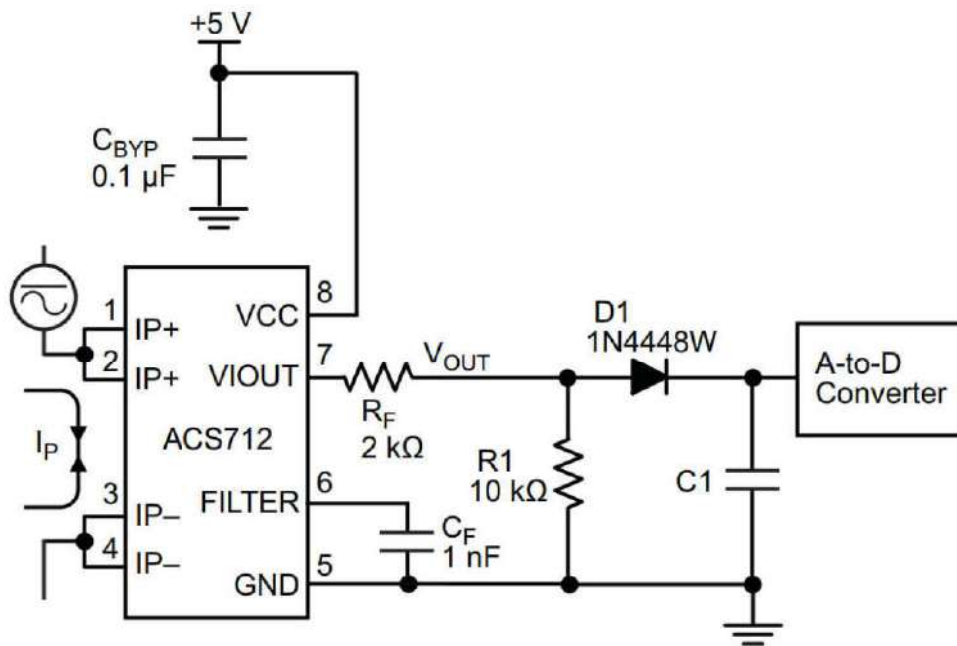


Рисунок 2.13. – Схема вимірювання струму на основі випрямляча

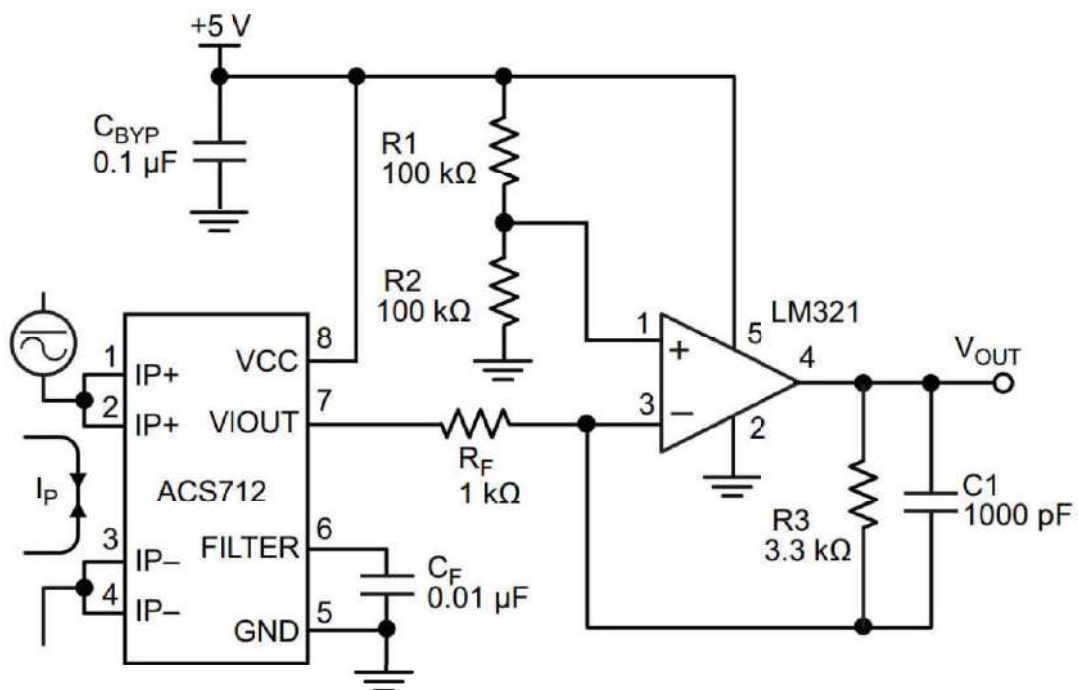


Рисунок 2.14. – Схема вимірювання струму на основі операційного підсилювача

2.7 Операційні підсилювачі

Відповідно до структурної схеми (рис. 4.1) реалізуємо електричну схему вирішальної частини. В якості базового елемента схеми використовуємо операційний підсилювач серії LM358N, основні технічні дані якого наведені в таблиці 4.2.

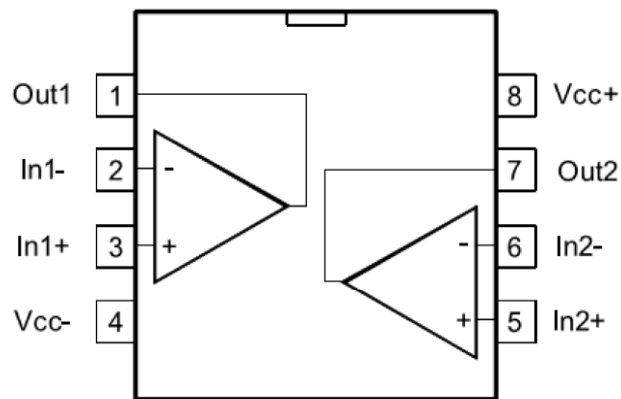


Рисунок 2.15. –Зовнішній вигляд операційного підсилювача

Таблиця 2.2 – Основні параметри операційного підсилювача

Параметр	Позначення	Значення
Напряження питания	U_{CC}	3 to 30 В
Ток потребления	I_{CC}	< 1.2 мА
Максимальная частота	GBP	1.1 МГц
Диапазон входных напряжений	U_{icm}	$(U_{CC}^-) - 0.3$ to $(U_{CC}^+) - 1.5$ В
Напряження смещения	U_{io}	< 7 мВ

2.8 Вимірювання струму та напруги

2.8.1 Зсув рівня сигналу для роботи з Micro:Bit

Для забезпечення сумісності сигналу рівня 0,0...3,0 В із аналоговим входом мікроконтролера Micro:Bit, реалізована додаткова схема зсуву рівня

сигналу. Суть схеми полягає у зміщенні напруги сигналу відносно 2,5 В до 1,5 В за допомогою операційного підсилювача, що виконує зсув на -1,0 В вхідного сигналу.

Ця операція реалізується за допомогою типової конфігурації операційного підсилювача (див. рис. 2.10). Оскільки зсув є постійним, для його формування використано два резистори — R2 та R3, які утворюють дільник напруги й створюють стабільний зсув -1,0 В.

Підсилення сигналу задається співвідношенням резисторів R4 / R1, що дозволяє змінювати діапазон вимірювання струму:

Для струмів до 30 А — коефіцієнт підсилення $R4/R1 = 0,75$.

Для струмів до 1 А — коефіцієнт підсилення $R4/R1 = 22,5$.

Сигнал із сенсора струму ACS712 подається на вхід підсилювальної схеми, а її вихід підключено до аналогового входу P1 плати Micro:Bit.

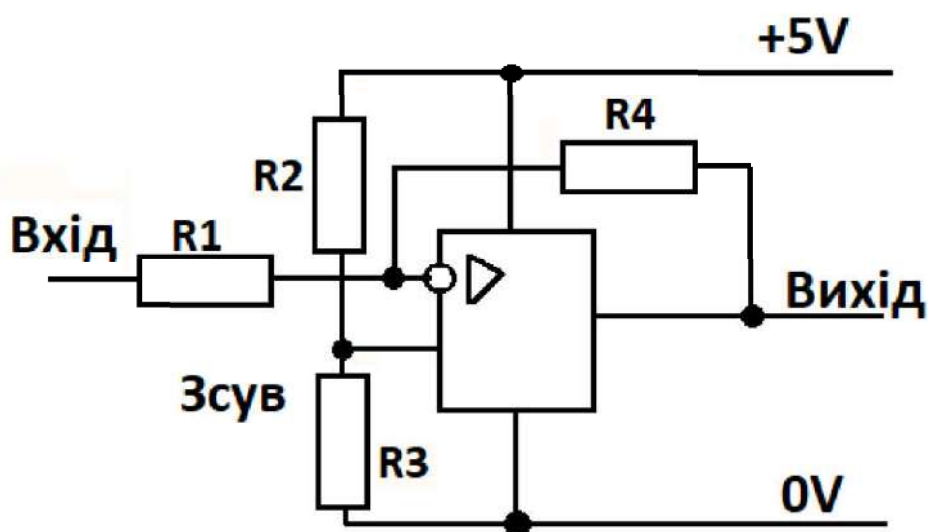


Рисунок 2.16. – Схема віднімання 1,0 В від вхідного сигналу датчику струму

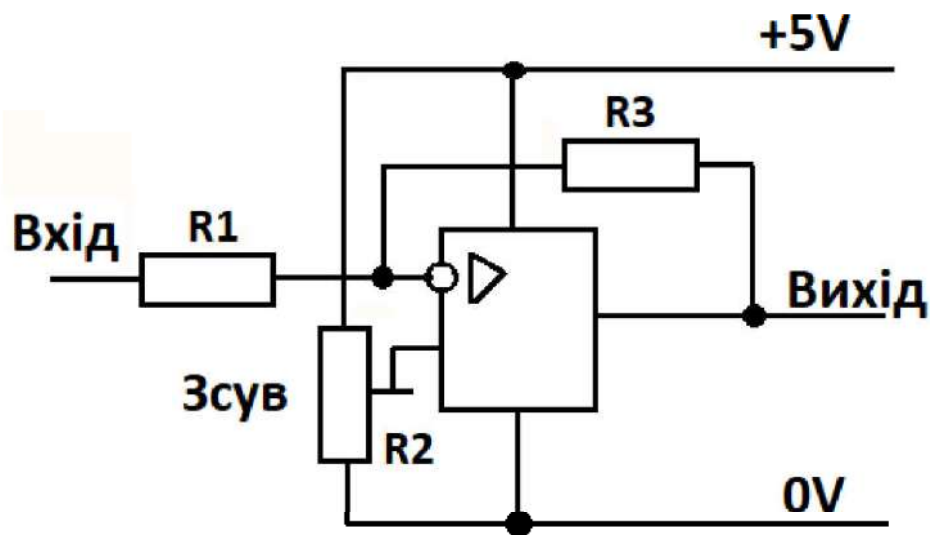


Рисунок 2.17. – Схема віднімання напруги від вхідного сигналу датчику струму

2.8.2 Вимірювання напруги за допомогою Micro:Bit

Для вимірювання напруги використовується аналоговий вхід Micro:Bit, який здатен зчитувати значення в межах 0,0 ... 3,0 В. Оскільки напруга на LiFePo4-батареї може перевищувати цей діапазон, для її вимірювання застосовано додаткову схему на операційному підсилювачі, аналогічну до рис. 2.10, з однією ключовою відмінністю: у схемі використовується змінний резистор R2, що дозволяє точно налаштувати рівень зміщення вхідної напруги.

Коефіцієнт підсилення задається співвідношенням резисторів $R3 / R1$, що дозволяє масштабувати сигнал до допустимого діапазону вхідної напруги мікроконтролера.

У конкретному випадку використовується одна LiFePo4 комірка з робочою напругою 3,2 В. Для приведення цієї напруги в допустимий діапазон аналогового входу, спочатку виконується віднімання постійної напруги 2,4 В (реалізоване за допомогою зміщення). Після цього вхідна напруга варіюється в межах 0,2 – 1,2 В. Далі сигнал підсилюється в 2,5 раза, щоб отримати вихідний

діапазон 0,5 – 3,0 В, який повністю відповідає можливостям аналогового входу Micro:Bit.

2.9 Розробка та розрахунок вихідного фільтра

Також, важливим параметром для вимірювання струмів є фільтрування вхідного сигналу для усунення випадкових шумів.

В якості вихідного фільтра другого порядку використовуємо активний фільтр низьких частот Чебишева з частотою зрізу 9 кГц і нерівномірністю 1 дБ, який наведено на рис. 2.14.

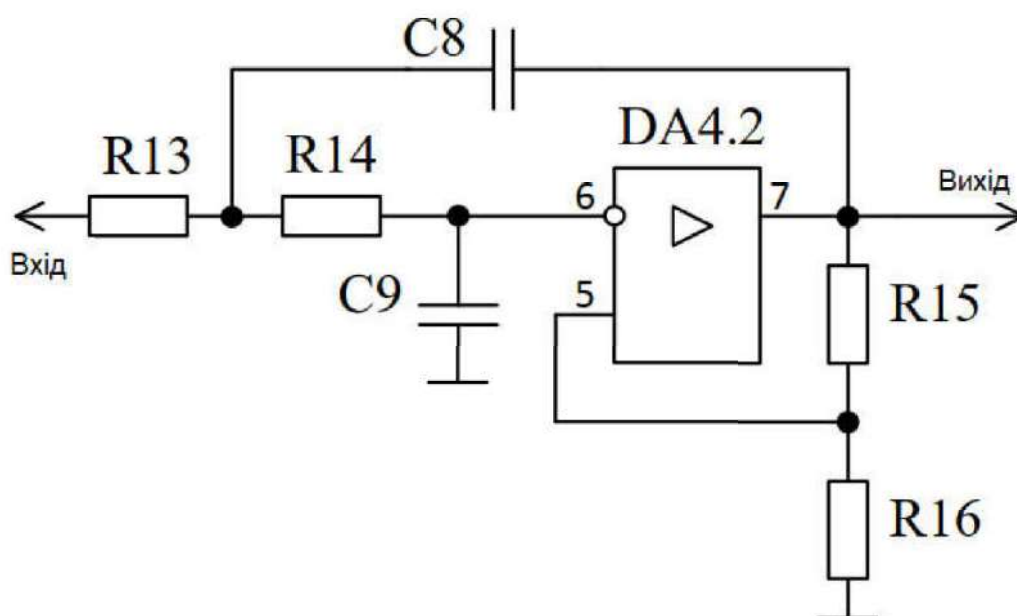


Рисунок 2.18. – Схема вихідного фільтра (типова схема)

Для спрощення розрахунку вихідного фільтра скористаємося топологією Салена-Кея. Для даної топології справедливо буде прийняти рівними опори резисторів R13 і R14 і ємності конденсаторів C8 і C9:

$$R13 = R14 = R ;$$

$$C8 = C9 = C.$$

Згідно з таблицею коефіцієнт загасання α і відношення $f_{3\text{дБ}}/f_{\text{СР}}$, для фільтра Чебишева другого порядку з нерівномірністю 1 дБ мають значення:

$$\alpha = 1,059; \quad f_{3\text{дБ}}/f_{\text{СР}} = 1,218;$$

где $f_{3\text{дБ}}$ – бажана частота зрізу на рівні 3 дБ, приймаємо у 9 кГц;

$$f_{\text{СР}} = \frac{f_{3\text{дБ}}}{1,218} = 7389 \text{ Гц.}$$

Задамо ємністю конденсаторів $C8 = C9 = C = 1 \text{ нФ}$, тоді на основі виразу для розрахунку частоти зрізу фільтра низьких частот визначимо R :

$$f_{\text{СР}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C};$$
$$R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{СР}} \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 7389 \cdot 1 \cdot 10^{-9}} = 21539 \text{ Ом.}$$

Відповідно до сітки номіналів опір резистора буде дорівнювати $R = 22 \text{ кОм}$. З умови рівності резисторів $R13 = R14 = R$, вони дорівнюють 22 кОм.

Розрахунок опору резисторів $R15$ і $R16$ здійснюємо виходячи з коефіцієнта загасання α . Задаємося резистором $R16$, який прийнято вибирати виходячи з умови $R16 = R$, рівним 22 кОм. Опір $R15$ знаходимо за виразом:

$$R15 = 2 - \alpha \cdot R16 = 2 - 1,059 \cdot 22000 = 20702 \text{ Ом}$$

					КПТР.021020.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		54

Відповідно до сітки номіналів опір резистора буде дорівнювати $R_{15} = 20 \text{ кОм}$. При цьому коефіцієнт підсилення в смузі пропускання розраховується за вираз:

$$K_{\Pi} = \frac{R_{15}}{R_{16}} + 1 = \frac{20000}{22000} + 1 = 1,91$$

Таким чином, фільтр забезпечить достатню швидкодію вимірювача та захист від завад.

					<i>КПТР.021020.01.02 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		55

Висновки з розділу

1. Проведено аналіз технічних вимог згідно з технічним завданням. Визначені основні вимоги до конструкції пристрою та інші його параметри.

2. Проаналізовані електричні параметри контролера пристрою контролю – контролера Micro:Bit, що виготовляється у вигляді готового пристрою та може бути встановлено у пристрій за допомогою плати розширення. Проаналізовано та розраховано параметри джерела живлення, що має забезпечити роботи пристрою в цілому.

3. Проаналізовані технічні вимоги щодо вимірювання струму та напруги. Для вимірювання струму запропоновано використати спеціалізований датчик струму Allegro ACS712, що використовує явище Холла для вимірювання струму у широкому діапазоні. Для обробки сигналів використовуються схеми на операційних підсилювачах, що дозволяє зсунути рівень нуля для датчику струму та змінити діапазони чутливості. Для зменшення впливу завад використовуються схеми фільтрів, що побудовані також на операційних підсилювачах.

					<i>КПТР.021020.01.02 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		56

3 ПРОЄКТУВАННЯ ВУЗЛІВ ТА ПРИСТРОЮ В ЦІЛОМУ

3.1 Вступ

Для визначення оптимальної кількості пар «струм – напруга» під час роботи з LiFePo₄-батареями відповідно до графіка їх розряду (рис. 3.1) можна застосувати метод кусочної апроксимації. Цей підхід дозволяє розділити криву розряду на окремі ділянки з майже лінійною поведінкою, що значно зменшує кількість необхідних вимірів напруги, які виконує плата Micro:Bit, без втрати точності оцінки стану заряду.

12V LiFePO₄ Battery Voltage Chart

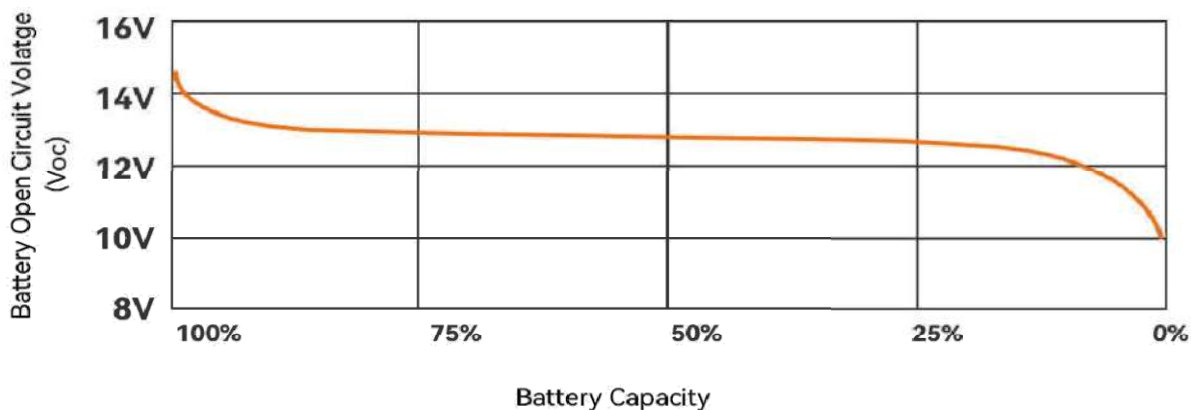


Рисунок 3.1. Графік заряд-розряду 12В LiFePo₄ акумулятора

Для підвищення напруги або ємності елементи LiFePo₄ з'єднують у відповідних конфігураціях. У разі послідовного з'єднання (позначається як «s»), напруги окремих елементів підсумовуються, утворюючи загальну напругу акумуляторної батареї.

Наприклад, 12 В LiFePo₄-батарея (рисунок 3.1) складається з 4 послідовно з'єднаних елементів (4s). Її номінальна напруга становить 12,8 В (4 × 3,2 В). У

стані повного заряду кожен елемент досягає приблизно 3,65 В, тому повна напруга батареї складає близько 14,6 В.

Аналогічно маємо:

24 В батарея складається з 8 елементів (8s):

– номінальна напруга: 25,6 В,

– максимальна напруга при повному заряді: $\approx 29,2$ В;

48 В батарея — це 16 елементів (16s):

– номінальна напруга: 51,2 В,

– максимальна напруга: $\approx 58,4$ В.

Крім послідовного з'єднання, паралельне з'єднання елементів або груп батарей дозволяє збільшити загальну ємність системи (Ah), зберігаючи напругу незмінною. Завдяки комбінаціям послідовного і паралельного з'єднань можна створити системи резервного живлення з необхідними характеристиками напруги та ємності, відповідно до потреб споживача або застосування.

На відміну від глибини розряду (**DoD**), ступінь заряду (**SoC**) показує залишковий рівень заряду у відсотках від загальної ємності акумулятора. По суті,

$$\langle \text{SoC} = 100\% - \text{DoD} \rangle.$$

Наприклад, якщо для акумулятора рекомендована глибина втрати ємності акумулятора становить 80% при виконанні 6000 циклів, то це означає, що таку батарею слід замінити, коли її SoC знизиться до 20% або нижче.

3.2 Застосування методу кускової апроксимації для оцінювання стану батареї

Оптимізація кількості вимірювань на Micro:Bit за допомогою методу кускової апроксимації

					<i>КПТР.021020.01.02 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		58

Кількість вимірювань має важливе значення під час роботи з мікроконтролером Micro:Bit, оскільки плата має обмежені обчислювальні ресурси та пам'ять. Це створює протиріччя між точністю вимірювання та можливістю обробки даних:

для досягнення високої точності потрібно виконувати якомога більше вимірювань пари «струм – напруга»;

для обробки та збереження великої кількості даних необхідно більше пам'яті, якої в Micro:Bit обмаль.

Щоб зменшити обсяг даних і спростити аналіз залежності напруги від часу, застосовується метод кускової апроксимації. Суть методу полягає у розбитті графіка розряду на окремі ділянки, в межах яких залежність можна вважати лінійною.

Особливість графіка розряду батареї LiFePo₄ полягає в тому, що приблизно 70 % тривалості розряду напруга залишається майже сталою, і лише на початку та в кінці (по ≈15 %) відбувається різке падіння напруги. Це робить метод кускової апроксимації особливо ефективним у даному випадку.

Застосування цього підходу дозволяє значно спростити розрахунок електричного заряду батареї за формулою:

$$Q = \int I(t) dt \approx \Sigma \left(\frac{I_1 + I_2}{2} \cdot \Delta t \right)$$

Кожен відрізок апроксимації відповідає трапеції на графіку залежності струму від часу, а її площа відповідає заряду, що передається у відповідному часовому інтервалі.

Таким чином, метод кускової апроксимації дозволяє:

- зменшити кількість вимірювань, необхідних для обчислення заряду;
- ефективно використовувати обмежені ресурси мікроконтролера;
- забезпечити достатню точність для практичних цілей при аналізі розряду батареї.

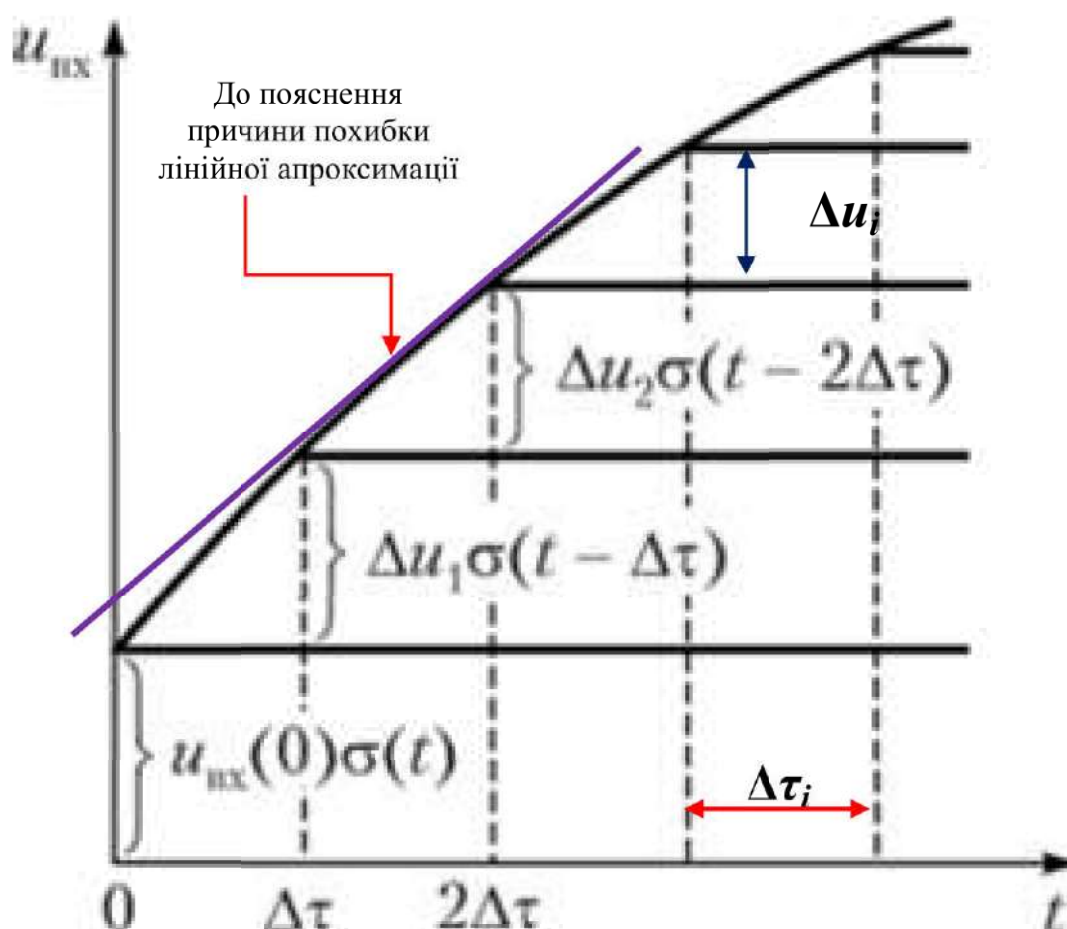


Рисунок 3.2. Приклад кускової апроксимації для сигналу напруги, що змінюється в часі

Моменти часу $\Delta\tau, 2\Delta\tau, 3\Delta\tau \dots$ і так далі і є точками часу, в які потрібно виконати запис даних в пам'ять нашого контролера Micro:Bit.

Отже, робимо припущення, щодо визначення моментів часу. Для цього нам потрібно знайти відношення $\frac{\Delta u_i}{\Delta \tau_i} < UT_{\max}$, де UT_{\max} є не що інше як швидкість зміни напруги Δu_i за момент часу $\Delta \tau_i$. Для визначення значення UT_{\max} пропонується виконати наступний алгоритм:

1. Вимірюється напруга від батареї v_s для визначення рівня вхідної напруги. Визначаються межі в v_{\max}, v_{\min} , що відповідають за, відповідно, 3,60 та 2,50 В. Якщо такі межі встановлено, переходимо на наступний пункт, інакше виконується вимірювання п.1

2. Розраховуємо рівень 3,25 В.

3. Відповідно до налаштувань оператора, щодо потрібної точності вимірювання UT_{\max} , виконуємо визначення моментів часу $\Delta \tau_i$ запису даних.

Причому, для центральної частини графіку, де $\frac{\Delta u_i}{\Delta \tau_i} \ll UT_{\max}$, використовуємо обмеження в інтервалі часу $\Delta \tau_i < \Delta \tau_{\max}$. Значення $\Delta \tau_{\max}$ обирається емпірично та може складати секунди або хвилини для повільних процесів розряду батарей.

Таким чином, змінюючи значення UT_{\max} , можна регулювати точність кускової апроксимації.

Як об'єкт для тестування використано типову комірку LiFePo4 виробництва EVE з робочою напругою 3.6 V та робочою ємністю в 280Ah (рис. 3.3).

					КПТР.021020.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		61



Рисунок 3.3. EVE 3.2V 280Ah

3.3 Практична реалізація прототипу

На рис. 3.4 представлено зібраний демонстраційний пристрій, призначений для тестування LiFePO₄-батареї. Пристрій містить усі необхідні компоненти для вимірювання струму та напруги, включно з мікроконтролером Micro:Bit, схемами зсуву рівня та підсилення сигналів.

На рис. 3.5 наведено схему підключення сигналів до плати Micro:Bit. Зображено, як виходи з аналогових схем надходять до аналогових входів мікроконтролера, що дозволяє йому проводити безперервний моніторинг параметрів батареї.

На рис. 3.6 подано детальну схему з операційними підсилювачами та резистивними дільниками, які формують відповідні коефіцієнти підсилення сигналів. Ці елементи відповідають за налаштування амплітуди вхідних сигналів у межах діапазону, допустимого для плати Micro:Bit (0...3,0 В).

						КПТР.021020.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата			62

Завдяки цим схемам пристрій здатен точно відобразити зміну струму та напруги під час розряду або навантаження батареї, що є ключовим для аналізу її ефективності.

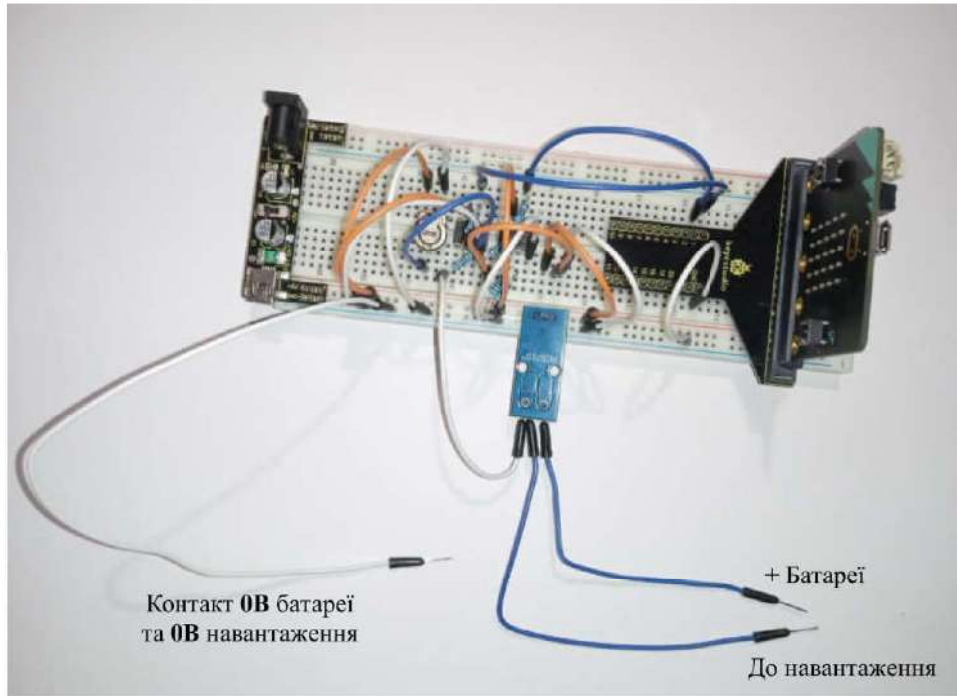


Рисунок 3.4. – Пристрій для віддаленого контролю рівня заряду батареї LiFePo4

достатнім для точного моніторингу стану батареї під час її розряду або навантаження.

Для коректної інтерпретації цифрових результатів слід враховувати наступні особливості оцифровування сигналу:

Напруга:

- 0,0 В відповідає цифровому коду 0;
- 3,0 В відповідає максимальному коду 1023 (10-бітний АЦП);

Сила струму:

- Для 0 А очікуване значення знаходиться приблизно в межах 511;

Калібрування напруги:

- Для напруги 2,5 В умовно встановлено нульове значення (0);
- Для напруги 4,0 В відповідає цифровий код 1023.

Ці значення є достатньо точними для виконання прикладних лабораторних або польових вимірювань із використанням мікроконтролера Micro:Bit та дозволяють з високою достовірністю оцінювати зміну параметрів у часі.

3.4 Розробка алгоритму вимірювання та запису даних

Концепція плати Micro:bit розроблена та втілена в життя британською компанією BBC для впровадження основ програмування та основ робототехніки в школи Великобританії. В подальшому ця плата набула широкого застосування в інших країнах, включно з Україною.

3.4.1 Програмне забезпечення приладу

Програмне забезпечення для реалізації пристрою на базі плати Micro:bit, що забезпечує віддалений контроль рівня заряду батареї LiFePO₄, розроблялося з використанням онлайн платформи MakeCode яка також має і версію для

										КПТР.021020.01.02 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата							65

передавати поточні параметри батареї на будь-який пристрій, що підтримує Bluetooth. Це забезпечує можливість моніторингу самому середовищі MakeCode у реальному часі і дозволяє відображати дані у вигляді графіків.

Таким чином, використання плати Micro:bit та програмного середовища MakeCode дозволило створити ефективний та простий у використанні прилад, що забезпечує віддалений контроль рівня заряду акумуляторної батареї LiFePO₄.

3.5 Результати вимірювання

Результати тестування батареї під навантаженням наведено на рис. 3.9 та рис. 3.10.

Як видно з графіка, плавна лінія зміни напруги свідчить про ефективну роботу алгоритму визначення динаміки напруги. Завдяки цьому алгоритму вдалося забезпечити поступову та згладжену побудову графіка без різких стрибків, що дозволяє точніше аналізувати поведінку батареї.

На рис. 2.10 також видно, що інтервали часу між вимірюваннями змінювалися поступово, що відповідає нормальній роботі алгоритму. Однак у точці №32 графіку спостерігається аномалія, яка проявляється у вигляді відхилення від загального тренду.

Ця аномалія, ймовірно, пов'язана зі зменшенням швидкості розряду батареї, що може бути викликано такими факторами, як:

- зниження струму навантаження;
- зміна температурних умов.

Такі аномальні точки важливо виявляти та враховувати при подальшому аналізі або калібруванні системи, оскільки вони можуть впливати на точність оцінки залишкової ємності або прогнозування часу роботи батареї.

					<i>КПТР.021020.01.02 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		68

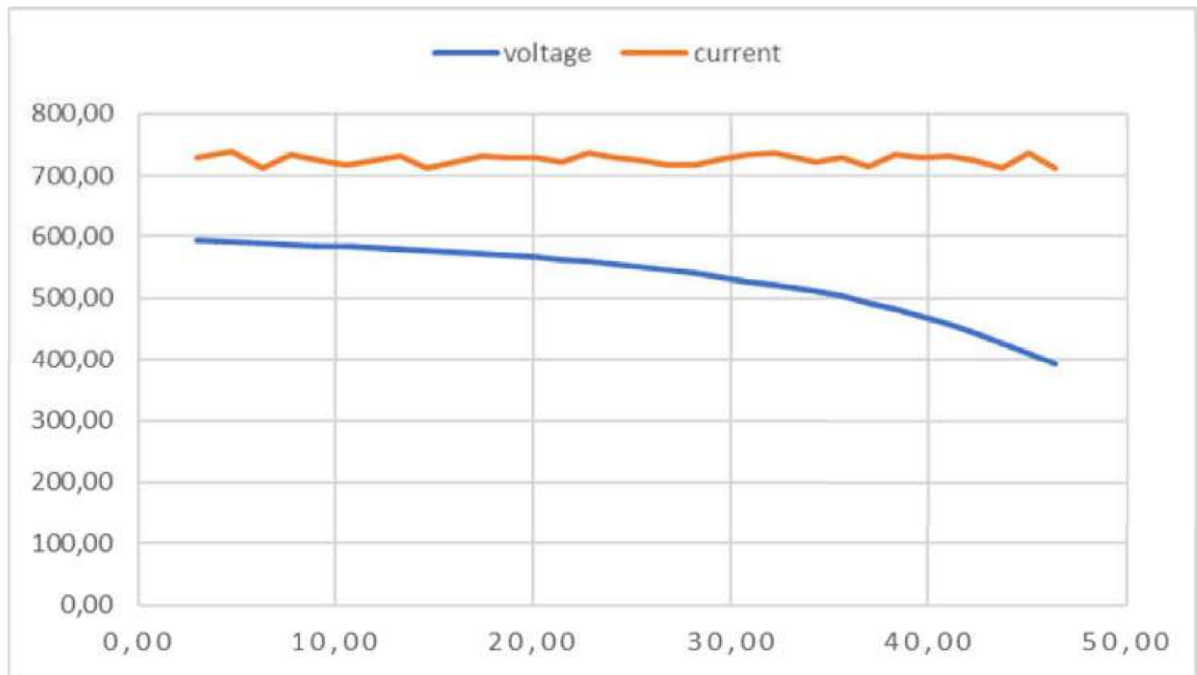


Рисунок 3.9. – Діаграма зміни напруги та струму на батареї під час розряду

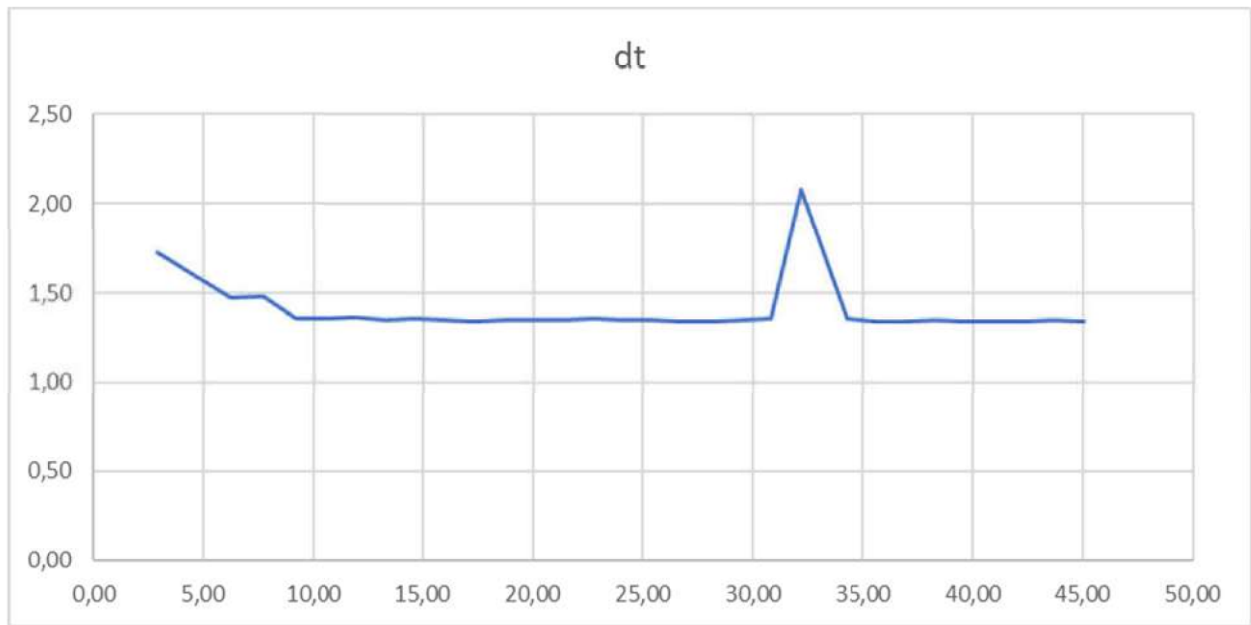


Рисунок 3.10. – Діаграма зміни інтервалу часу $\Delta\tau_i$.

Проведене дослідження доказало можливість застосування на практиці методу кускової апроксимації для визначення потрібних моментів часу для виконання запису пари «струм – напруга».

Також, розроблений тестовий пристрій показав доцільність використаних технічних рішень – джерела живлення 5В, датчика струму та перетворювачів на операційних підсилювачах.

Оскільки для вимірювання параметрів було використано акумуляторну батарею, то параметри фільтрів вихідних сигналів не були досліджені в повній мірі.

Отже, розроблена конструкція пристрою виконує поставлені задачі.

					<i>КПТР.021020.01.02 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		70

Висновки з розділу

1. Для здійснення вимірювання та оцінювання параметрів джерел живлення необхідно було вирішити задачу накопичення результатів вимірювань у пам'яті мікроконтролера з метою подальшої обробки. Для цього було запропоновано використати метод кускової апроксимації, який дозволив оптимізувати процес фіксації даних, визначаючи ключові моменти часу, коли потрібно зберігати значення напруги та струму батареї.

2. Було розроблено та зібрано експериментальний зразок пристрою згідно з розробленою схемотехнікою. Результати практичних вимірювань підтвердили доцільність запропонованого методу вибору моментів вимірювання, а також ефективність використаних схемотехнічних рішень, що забезпечили стабільну та точну роботу пристрою.

					<i>КПТР.021020.01.02 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		71

ВИСНОВКИ З РОБОТИ

1. Точне тестування внутрішнього опору батареї LiFePo4 має вирішальне значення для підтримки її продуктивності та безпеки. Знання того, як це зробити правильно, може заощадити ваш час, гроші та уникнути зайвого клопоту в майбутньому. Наявність відповідного обладнання та дотримання належних процедур допоможе забезпечити точні показники кожного разу.

2. Отже замість постійного моніторингу система працюватиме окремими точками, розташованими у ключових зонах графіка де точність вимірювання більш необхідна ніж на інших. Фаза різкого падіння напруги батареї критично важлива, оскільки дозволяє оптимізувати роботу пристрою який від неї працює. оскільки саме в цей момент потрібно максимально точно контролювати її стан, у цій зоні система може змінювати режим роботи пристрою для зменшення навантаження на батарею та захисту від глибокого розряду.

					<i>КПТР.021020.01.02 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		72

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Official page micro:bit at Internet <https://microbit.org/>
2. Microsoft MakeCode: <https://makecode.microbit.org/>
3. micro:bit classroom: <https://classroom.microbit.org/>
4. Пространства Хермандера, интерполяция и эллиптические задачи / В. А. Михайлец, А. А. Мурач ; с предисл. Ю. М. Березанского. – Киев : ИМ НАН Украины, 2010. – 370 с. – (Праці / Ін-т математики НАН України ; т. 84). – Библиогр.: с. 351-370 (237 назв.). – ISBN 978-966-02-5747-4
5. Вимірювання внутрішнього опору. <https://harveypoweress.com/test-the-lifepo4-battery-internal-resistance/>
6. Графік напруги та стану батареї. https://powmr.com/blogs/news/lifepo4-voltage-chart-and-soc?srsId=AfmBOoqWXef5kt9wWpGuRby1BHyYxRnen3aaBNHh6Kbo4W_z9bjdWmNC
7. Аналізатор батарей UNI-T UT3550. <https://uni-t.ua/uk/catalog/battery-tester-uni-t-ut3550/>
8. <https://makecode.microbit.org/>
9. <https://www.thermofisher.com/blog/materials/the-history-of-the-lithium-ion-battery/>
10. Тестер акумуляторних батарей 12В LAUNCH BST-560 // <https://electro-market.com.ua/uk/ctproduct/tester-akumulyatornih-batarei-12v-bst-560-launch.html>
11. Тестер-аналізатор АКБ (цифровий) TRISCO IBA-300 // <https://toptul.org/catalog/testeryi-akkumulyatornyix-batarej/iba-300/>
12. ER-Tester YR1030+ для вимірювання внутрішнього опору LiFePO₄, Li-ion, Pb // <https://radiodetali.com.ua/ua/product/er-tester-dlya-izmereniya-vnutrennego-soprotivleniya-lifepo4-li-ion-pb-65667>

					<i>КПТР.021020.01.02 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		73

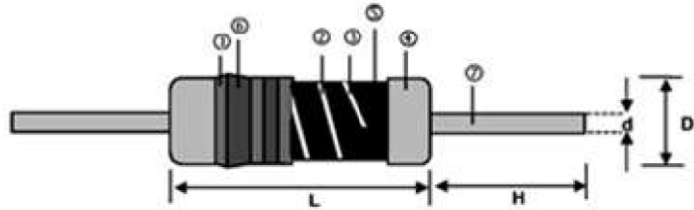
ДОДАТКИ

Резистори серії MFR

(Приклад резистора 100 кОм, 0.25 Вт: MFR0623FTBV1003)

Metal Film Leaded Precision Resistor – MFR Series

Construction



① Insulation Coating (Expose resin)	⑤ Resistor Layer (Nickel alloy)
② Trimming Line	⑥ Marking (Expose)
③ Ceramic Rod (Alumina ceramic)	⑦ Lead Wire (Tinned annealed copper wire)
④ Electrode Cap (Tinned iron cap)	

Features

- Excellent overall stability
- Very tight tolerance down to $\pm 0.05\%$
- Extremely low TCR down to $\pm 5 \text{ PPM}/^\circ\text{C}$
- High power rating up to 3 Watts
- Excellent ohmic contact

Applications

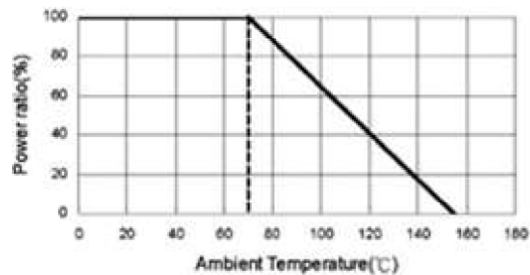
- Automotive
- Telecommunication
- Medical Equipment

Dimensions

Unit: mm

Type	L	D	H	d	Weight (g) (1000pcs)
MFR0318	3.3+0.7/-0.2	1.8 \pm 0.30	29 \pm 2.0	0.45 \pm 0.03	90
MFR0623	6.3 \pm 0.5	2.3 \pm 0.30	28 \pm 2.0	0.55 \pm 0.03	150
MFR0932	9.0 \pm 0.5	3.2 \pm 0.50	26 \pm 2.0	0.65 \pm 0.03	350
MFR1145	11.5 \pm 1.0	4.5 \pm 0.50	35 \pm 2.0	0.78 \pm 0.03	770
MFR1550	15.5 \pm 1.0	5.0 \pm 0.50	32 \pm 2.0	0.78 \pm 0.03	1040

Derating Curve



Part Numbering

MFR	0318	B	T	N		1001	MA
Product Type	Dimensions (LxD)	Resistance Tolerance	Packaging Code	TCR (PPM/°C)	Power Rating	Resistance	Special
	0318: 3.3x1.8 0623: 6.3x2.3 0932: 9.0x3.2 1145: 11.5x4.5 1550: 15.5x5.0	A: $\pm 0.05\%$ B: $\pm 0.1\%$ C: $\pm 0.25\%$ D: $\pm 0.5\%$ F: $\pm 1\%$	A: Ammo B: Bulk T: Taping Reel	S: ± 5 B: ± 10 N: ± 15 C: ± 25 D: ± 50 E: ± 100	: Standard R: 3W S: 2W T: 1W U: 1/2W V: 1/4W F: 3/5W G: 2/5W W: 1/8W	R100: 0.1 Ω 0010: 1 Ω 1000: 100 Ω 2201: 2200 Ω 1001: 1K Ω 1004: 1M Ω	: Standard MA: MA-type MB: MB-type MC: MC-type FA: FA-type FB: FB-type FC: FC-type

Зм.	№докум.	Підпис	Дата
-----	---------	--------	------

Електролітичні конденсатори фірми NICHICON.

Доступні в сетці Е6.

(Приклад конденсатора 100 мкФ, 25 В: UVK1E102MPD)

ALUMINUM ELECTROLYTIC CAPACITORS

nichicon

UVK

Miniature Sized

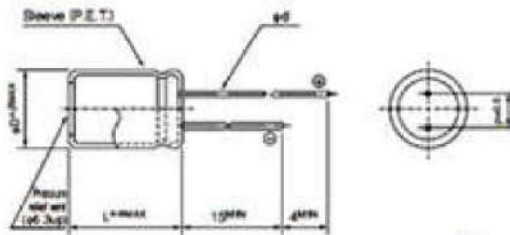


- One rank smaller case sizes than UVR.
- Compliant to the RoHS directive (2011/65/EU).

Specifications

Item	Performance Characteristics																																											
Category Temperature Range	-40 to +85°C (6.3V to 400V), -25°C to +85°C (450V)																																											
Rated Voltage Range	6.3 to 450V																																											
Rated Capacitance Range	0.1 to 68000µF																																											
Capacitance Tolerance	±20% at 120Hz, 20°C																																											
Leakage Current	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rated voltage (V)</th> <th>6.3 to 100V</th> <th>160 to 450V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>After 1 minute's application of rated voltage at 20°C, leakage current is not more than 0.03CV or 4 (µA), whichever is greater.</td> <td></td> <td>After 1 minute's application of rated voltage at 20°C, CV ≤ 1000 : I = 0.1CV = 40µA or less</td> </tr> <tr> <td>After 2 minutes' application of rated voltage at 20°C, leakage current is not more than 0.01CV or 3 (µA), whichever is greater.</td> <td></td> <td>After 1 minute's application of rated voltage at 20°C, CV > 1000 : I = 0.04CV = 100 (µA) or less</td> </tr> </tbody> </table>	Rated voltage (V)	6.3 to 100V	160 to 450V	After 1 minute's application of rated voltage at 20°C, leakage current is not more than 0.03CV or 4 (µA), whichever is greater.		After 1 minute's application of rated voltage at 20°C, CV ≤ 1000 : I = 0.1CV = 40µA or less	After 2 minutes' application of rated voltage at 20°C, leakage current is not more than 0.01CV or 3 (µA), whichever is greater.		After 1 minute's application of rated voltage at 20°C, CV > 1000 : I = 0.04CV = 100 (µA) or less																																		
	Rated voltage (V)	6.3 to 100V	160 to 450V																																									
After 1 minute's application of rated voltage at 20°C, leakage current is not more than 0.03CV or 4 (µA), whichever is greater.		After 1 minute's application of rated voltage at 20°C, CV ≤ 1000 : I = 0.1CV = 40µA or less																																										
After 2 minutes' application of rated voltage at 20°C, leakage current is not more than 0.01CV or 3 (µA), whichever is greater.		After 1 minute's application of rated voltage at 20°C, CV > 1000 : I = 0.04CV = 100 (µA) or less																																										
Tangent of loss angle (tan δ)	For capacitance of more than 1000µF, add 0.02 for every increase of 1000µF. Measurement frequency : 120Hz at 20°C <table border="1"> <thead> <tr> <th>Rated voltage (V)</th> <th>6.3</th> <th>10</th> <th>16</th> <th>25</th> <th>35</th> <th>50</th> <th>63</th> <th>100</th> <th>160 to 250</th> <th>360 to 450</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>tan δ (MAX.)</td> <td>0.28</td> <td>0.24</td> <td>0.20</td> <td>0.16</td> <td>0.14</td> <td>0.12</td> <td>0.10</td> <td>0.08</td> <td>0.20</td> <td>0.25</td> </tr> </tbody> </table>	Rated voltage (V)	6.3	10	16	25	35	50	63	100	160 to 250	360 to 450	tan δ (MAX.)	0.28	0.24	0.20	0.16	0.14	0.12	0.10	0.08	0.20	0.25																					
Rated voltage (V)	6.3	10	16	25	35	50	63	100	160 to 250	360 to 450																																		
tan δ (MAX.)	0.28	0.24	0.20	0.16	0.14	0.12	0.10	0.08	0.20	0.25																																		
Stability at Low Temperature	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Rated voltage (V)</th> <th colspan="10">Measurement frequency : 120Hz</th> </tr> <tr> <th>6.3</th> <th>10</th> <th>16</th> <th>25</th> <th>35</th> <th>50 to 100</th> <th>160 to 200</th> <th>250 to 300</th> <th>400</th> <th>450</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Impedance ratio Z_{-25°C} / Z_{+20°C}</td> <td>5</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>6</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>ZT / Z20 (MAX.)</td> <td>Z_{-40°C} / Z_{+20°C}</td> <td>12</td> <td>10</td> <td>8</td> <td>5</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>8</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	Rated voltage (V)	Measurement frequency : 120Hz										6.3	10	16	25	35	50 to 100	160 to 200	250 to 300	400	450	Impedance ratio Z _{-25°C} / Z _{+20°C}	5	4	3	2	2	2	3	4	6	15	ZT / Z20 (MAX.)	Z _{-40°C} / Z _{+20°C}	12	10	8	5	4	3	4	8	10
	Rated voltage (V)		Measurement frequency : 120Hz																																									
6.3		10	16	25	35	50 to 100	160 to 200	250 to 300	400	450																																		
Impedance ratio Z _{-25°C} / Z _{+20°C}	5	4	3	2	2	2	3	4	6	15																																		
ZT / Z20 (MAX.)	Z _{-40°C} / Z _{+20°C}	12	10	8	5	4	3	4	8	10																																		
Endurance	The specifications listed at right shall be met when the capacitors are restored to 20°C after the rated voltage is applied for 2000 hours at 85°C. <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Capacitance change</td> <td>Within ±20% of the initial capacitance value</td> </tr> <tr> <td>tan δ</td> <td>200% or less than the initial specified value</td> </tr> <tr> <td>Leakage current</td> <td>Less than or equal to the initial specified value</td> </tr> </tbody> </table>	Capacitance change	Within ±20% of the initial capacitance value	tan δ	200% or less than the initial specified value	Leakage current	Less than or equal to the initial specified value																																					
Capacitance change	Within ±20% of the initial capacitance value																																											
tan δ	200% or less than the initial specified value																																											
Leakage current	Less than or equal to the initial specified value																																											
Shelf Life	After storing the capacitors under no load at 85°C for 1000 hours and then performing voltage treatment based on JIS C 5101-4 clause 4.1 at 20°C, they shall meet the specified values for the endurance characteristics listed above.																																											
Marking	Printed with white color letter on black sleeve.																																											

Radial Lead Type

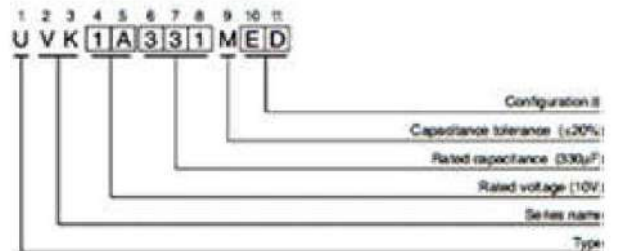


	5	6.3	8	10	12.5	16	18	20	25	25
φD	5	6.3	8	10	12.5	16	18	20	25	25
P	2.0	2.5	3.5	5.0	5.0	7.5	7.5	10.0	10.0	12.5
φd	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0
L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0

h	(L < 20) 1.5
	(L ≥ 20) 2.0

• Please refer to page 20 about the end seal configuration.

Type numbering system (Example : 10V 330µF)



III Configuration	
φD	Pb-free leadwire Pb-free PET sleeve
5	DO
6.3	EO
8-10	PO
12.5 to 18	HO
20 to 25	RO

КПТР.021020.01.02 ПЗ

Арк.

75

Зм.	№докум.	Підпис	Дата
-----	---------	--------	------

■ Dimensions

Cap. (µF)	Code	V							
		6.3	10	16	25	35	50	63	
		0J	1A	1C	1E	1V	1H	1J	
0.1	0R1						5 × 11	1.3	
0.22	R22						5 × 11	2.9	
0.33	R33						5 × 11	4.3	
0.47	R47						5 × 11	6.2	
1	010						5 × 11	17	
2.2	2R2						5 × 11	28	
3.3	3R3						5 × 11	36	
4.7	4R7						5 × 11	40	
10	100						5 × 11	60	
22	220						5 × 11	96	5 × 11 100
33	330						5 × 11	125	6.3 × 11 140
47	470					5 × 11 130	6.3 × 11 155	6.3 × 11 170	
68	680					6.3 × 11 160	6.3 × 11 210	8 × 11.5 220	
100	101				5 × 11 180	6.3 × 11 210	8 × 11.5 260	8 × 11.5 280	
220	221		5 × 11 220	6.3 × 11 260	6.3 × 11 280	8 × 11.5 350	10 × 12.5 400	10 × 16 490	
330	331		6.3 × 11 290	6.3 × 11 320	8 × 11.5 390	10 × 12.5 490	10 × 16 590	10 × 20 710	
470	471		6.3 × 11 350	8 × 11.5 440	10 × 12.5 550	10 × 16 650	10 × 20 790	12.5 × 20 900	
1000	102	8 × 11.5 540	10 × 12.5 650	10 × 12.5 700	10 × 16 860	12.5 × 20 1150	12.5 × 25 1350	16 × 25 1300	
2200	222	10 × 16 890	10 × 16 990	10 × 20 1000	12.5 × 25 1550	16 × 25 1800	16 × 31.5 1980	18 × 35.5 2300	
3300	332	10 × 20 1190	12.5 × 20 1450	12.5 × 25 1700	16 × 25 1980	16 × 31.5 2100	18 × 35.5 2500	20 × 40 2700	
4700	472	12.5 × 20 1550	12.5 × 25 1800	16 × 25 2100	16 × 25 2200	16 × 35.5 2500	20 × 40 2900	22 × 50 3400	
6800	682	12.5 × 25 1900	16 × 25 2250	16 × 25 2250	16 × 35.5 2800	18 × 40 2900	22 × 50 3500	25 × 50 3900	
10000	103	16 × 25 2350	16 × 31.5 2550	16 × 35.5 2710	18 × 40 2800	22 × 50 3700	25 × 50 4000		
15000	153	16 × 31.5 2550	16 × 35.5 2880	18 × 40 3100	22 × 50 3800	25 × 50 4300			
22000	223	18 × 35.5 3200	18 × 40 3400	22 × 40 3800	25 × 50 4500				
33000	333	20 × 40 3600	22 × 50 4500	25 × 50 4800					
47000	473	22 × 50 3900	25 × 50 5000						Case size Rated ripple
68000	683	25 × 50 4300							±D × L (mm)

Cap. (µF)	Code	V							
		100	160	200	250	350	400	450	
		2A	2C	2D	2E	2V	2G	2W	
0.1	0R1	5 × 11 2.1		6.3 × 11 2.1					
0.22	R22	5 × 11 4.7		6.3 × 11 4.7					
0.33	R33	5 × 11 7		6.3 × 11 7					
0.47	R47	5 × 11 10		6.3 × 11 15			6.3 × 11 12		
1	010	5 × 11 21		6.3 × 11 22			6.3 × 11 20		
2.2	2R2	5 × 11 30		6.3 × 11 33		6.3 × 11 30	8 × 11.5 38	8 × 11.5 28	
3.3	3R3	5 × 11 40		6.3 × 11 40	6.3 × 11 40	8 × 11.5 43	8 × 11.5 48	10 × 12.5 40	
4.7	4R7	5 × 11 45		6.3 × 11 50	6.3 × 11 50	8 × 11.5 55	10 × 12.5 60	10 × 12.5 46	
10	100	5 × 11 70	8 × 11.5 80	8 × 11.5 80	10 × 12.5 100	10 × 12.5 90	10 × 16 90	10 × 20 80	
22	220	6.3 × 11 130	10 × 12.5 130	10 × 16 150	10 × 20 150	12.5 × 20 150	12.5 × 25 200	12.5 × 25 140	
33	330	8 × 11.5 180	10 × 16 180	10 × 20 200	10 × 20 200	12.5 × 25 240	16 × 25 240	16 × 25 180	
47	470	8 × 11.5 200	10 × 20 210	12.5 × 20 270	12.5 × 20 270	16 × 25 300	16 × 25 280	16 × 31.5 220	
68	680	10 × 12.5 270	12.5 × 20 350	12.5 × 25 350	16 × 25 380	16 × 25 400	16 × 31.5 340	18 × 35.5 260	
100	101	10 × 16 340	12.5 × 25 430	16 × 25 450	16 × 25 440	18 × 35.5 520	18 × 35.5 440	18 × 40 280	
220	221	12.5 × 20 550	16 × 31.5 580	16 × 35.5 700	18 × 35.5 690	22 × 50 750	22 × 50 660	25 × 50 350	
330	331	12.5 × 25 760	18 × 35.5 800	18 × 40 950	20 × 40 1000	25 × 50 1000			
470	471	16 × 25 1000	18 × 40 1200	22 × 40 1300	22 × 50 1400				
1000	102	18 × 35.5 1350	25 × 50 1900						
2200	222	22 × 50 2400							Case size Rated ripple
3300	332	25 × 50 2900							±D × L (mm)

 Rated ripple current (mA_{rms}) at 85°C 120Hz

● Frequency coefficient of rated ripple current

V	Cap. (µF)	Frequency				
		50Hz	120Hz	300Hz	1 kHz	10kHz or more
6.3 to 100	0.1 to 68	0.75	1.00	1.35	1.57	2.00
	100 to 470	0.80	1.00	1.23	1.34	1.50
	1000 to 68000	0.85	1.00	1.10	1.13	1.15
160 to 450	0.1 to 220	0.80	1.00	1.25	1.40	1.60
	330 to 1000	0.90	1.00	1.10	1.13	1.15

Керамічні неполярні конденсатори фірми MURATA

(Приклад конденсатора 0,1 мкФ, до 50В: RPER71H104K2M1A03A

● Part Numbering

Radial Lead Type Monolithic Ceramic Capacitors

(Part Number)

RP	E	R7	1H	104	K	2	M1	A03	A
●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Product ID

Series/Terminal

Product ID	Series/Terminal	
RP	E	Radial Lead Type Monolithic Ceramic Capacitors (DC25V-DC100V)
RH	E/D	Radial Lead Type Monolithic Ceramic Capacitors 150°C max. (for Automotive) (DC50V-DC100V)
RD	E	Radial Lead Type Monolithic Ceramic Capacitors (Only for Commercial Use) (DC250V-DC630V)

Temperature Characteristics

Code	Temperature Characteristics	Temperature Range	Capacitance Change or Temperature Coefficient	Operating Temperature Range
5C	C0G	25 to 125°C	0±30ppm/°C	-55 to 125°C
E4	Z5U	10 to 85°C	+22, -56%	10 to 85°C
F5	Y5V	-30 to 85°C	+22, -82%	-30 to 85°C
L8	X8L	-55 to 125°C	±15%	-55 to 150°C
		125 to 150°C	+15, -40%	
R7	X7R	-55 to 125°C	±15%	-55 to 125°C

Rated Voltage

Code	Rated Voltage
1E	DC25V
1H	DC50V
2A	DC100V
2E	DC250V
2J	DC630V

Dimensions (LxW)

Code	Dimensions (LxW)
1	4.0X3.5mm
2	5.0X3.5mm or 5.5X4.0mm or 5.7X4.5mm (Depends on Part Number List)
3	5.0X4.5mm or 5.5X5.0mm (Depends on Part Number List)
4	7.5X5.0mm
5	7.5X7.5mm*
6	10.0X10.0mm
7	12.5X12.5mm
8	7.5X5.5mm
U	7.7X12.5mm*

* DC630V: W+0.5mm

Capacitance

Expressed by three-digit alphanumerics. The unit is pico-farad (pF). The first and second figures are significant digits, and the third figure expresses the number of zeros which follow the two numbers.

If there is a decimal point, it is expressed by the capital letter "R". In this case, all figures are significant digits.

Capacitance Tolerance

Code	Capacitance Tolerance	Temperature Characteristics	Capacitance Step
C	±0.25pF	C0G	±5pF : 1pF Step
D	±0.5pF		6 to 9pF : 1pF Step
J	±5%	X7R	±10 : E12 Series
K	±10%		E6 Series
M	±20%	Z5U	E3 Series
Z	+80%, -20%	Y5V	E3 Series

Lead Style

Code	Lead Style	Lead Spacing
A2	Straight Long	2.5mm
B1	Straight Long	5.0mm
C1	Straight Long	10.0mm
DB	Straight Taping	2.5mm
E1/E2	Straight Taping	5.0mm
K1	Inside Crimp	5.0mm
M1/M2	Inside Crimp Taping	5.0mm
P1	Outside Crimp	2.5mm
S1/S2	Outside Crimp Taping	2.5mm

Lead distance between reference and bottom planes.

M1, S1: H₀ = 16.0±0.5mm

M2, S2: H₀ = 20.0±0.5mm

E1: H = 17.5±0.5mm

E2: H = 20.0±0.5mm

Individual Specification Code

Expressed by three-digit alphanumerics

Packaging

Code	Packaging
A	Ammo Pack
B	Bulk

Зм.	№докум.	Підпис	Дата

КПТР.021020.01.02 ПЗ

Арк.

77

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

на тему

АДАПТИВНИЙ ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ РІВНЯ ЗАРЯДУ БАТАРЕЇ ЖИВЛЕННЯ

Виконав:

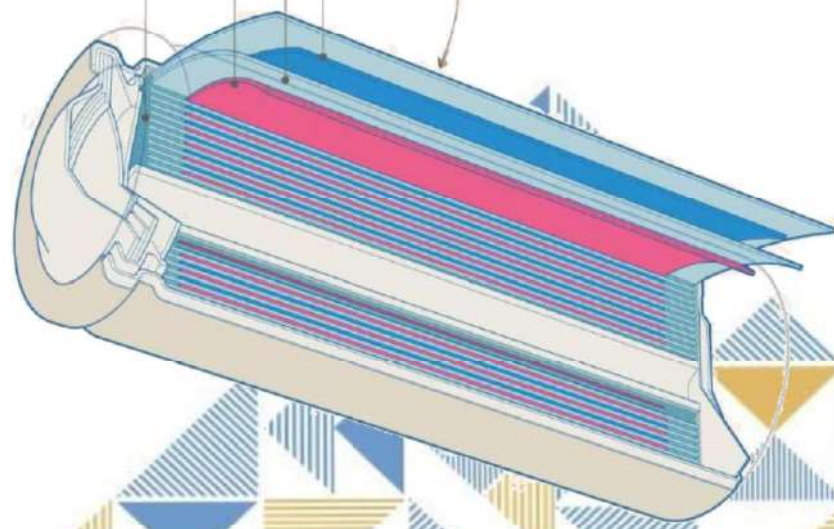
студент 4 курсу, група ГР2-22-1

Вадим СЛІСАРЕНКО

Керівник:

К.Т.Н., доцент

Костянтин ГОРЯЩЕНКО



В основі кожної батареї лежить електричний елемент

Електроліт. Рідина, в яку занурюють анод і катод

Анод. Зазвичай виробляється з кремнію і графіту

Розділювач

Катод. Як правило робиться із літію і оксидів металів

У цьому прикладі анод, катод і розділювач розміщені у циліндричну оболонку

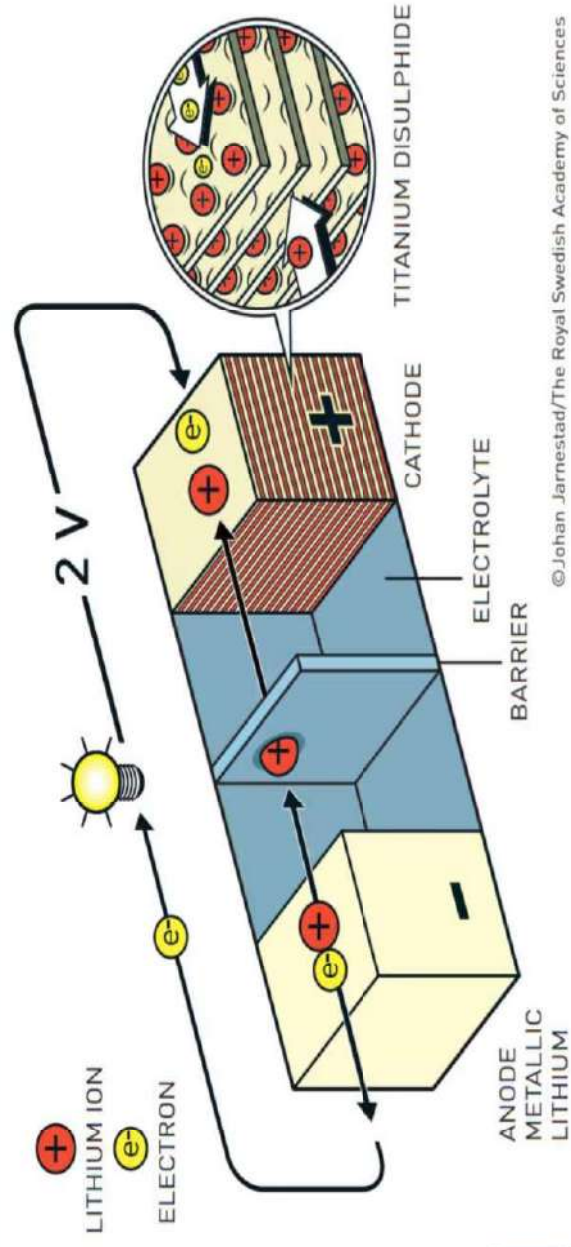
Графіка: Ієн Ботт Фото: Dreamstime

Джерела: Rho Motion; Міністерство енергетики США; Samsung; дослідження FT

Рис.1. Конструкція батареї



Рис. 2. EVE 3.2V 280Ah



© Johan Järnstedt/The Royal Swedish Academy of Sciences

Рис. 3. Електроди батареї дисульфід титану як катод та літій як анод

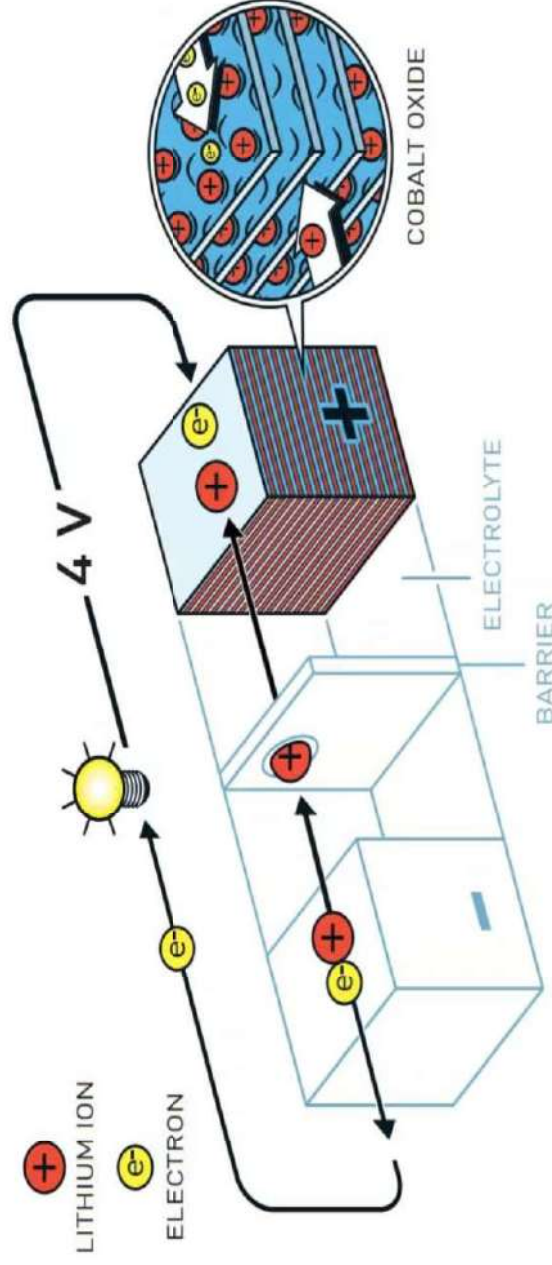


Рис. 4. Оксид літію кобальту замість дисульфиду титану

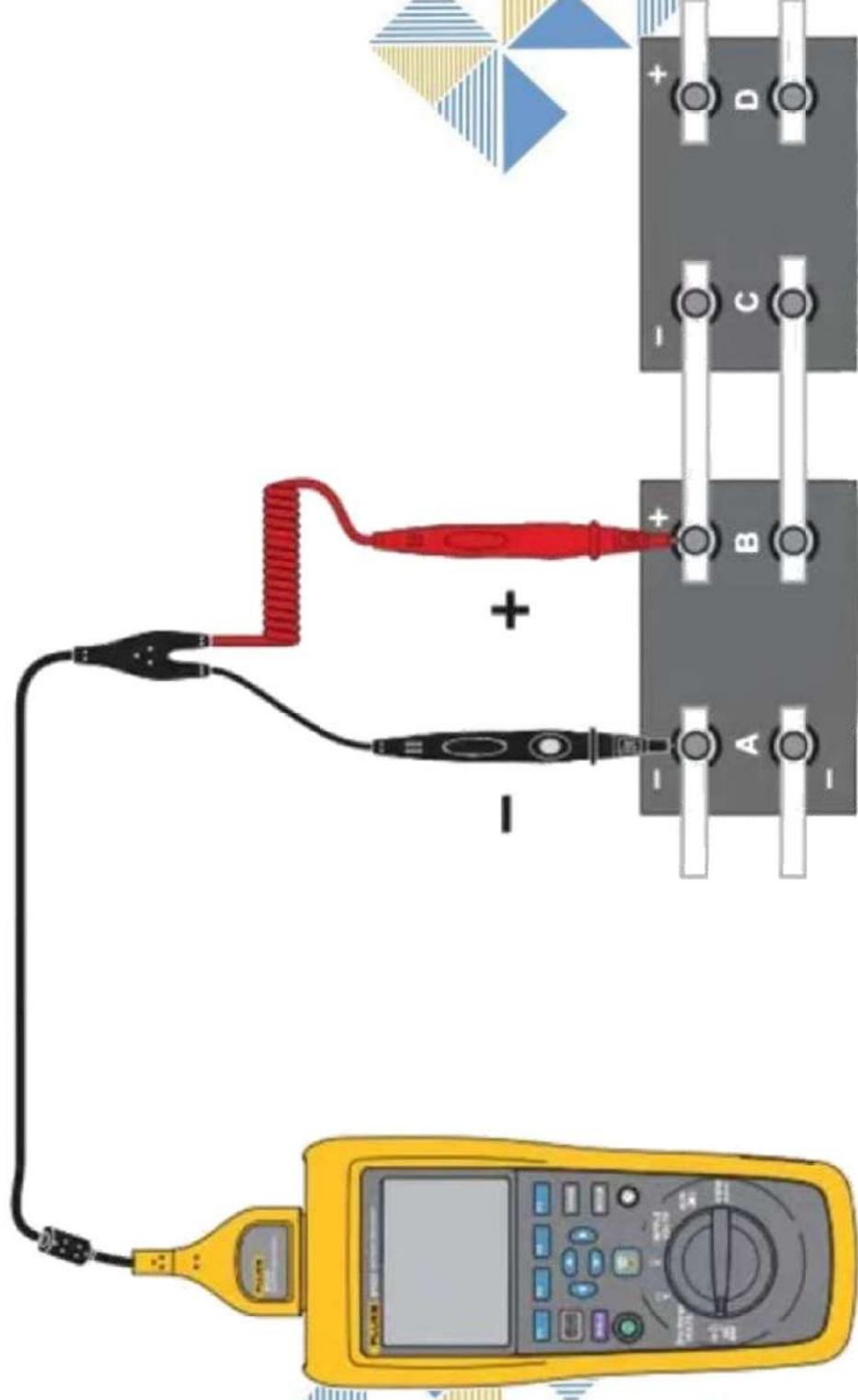


Рис. 5. Типова схема підключення батареї або її сегменту до вольтметра

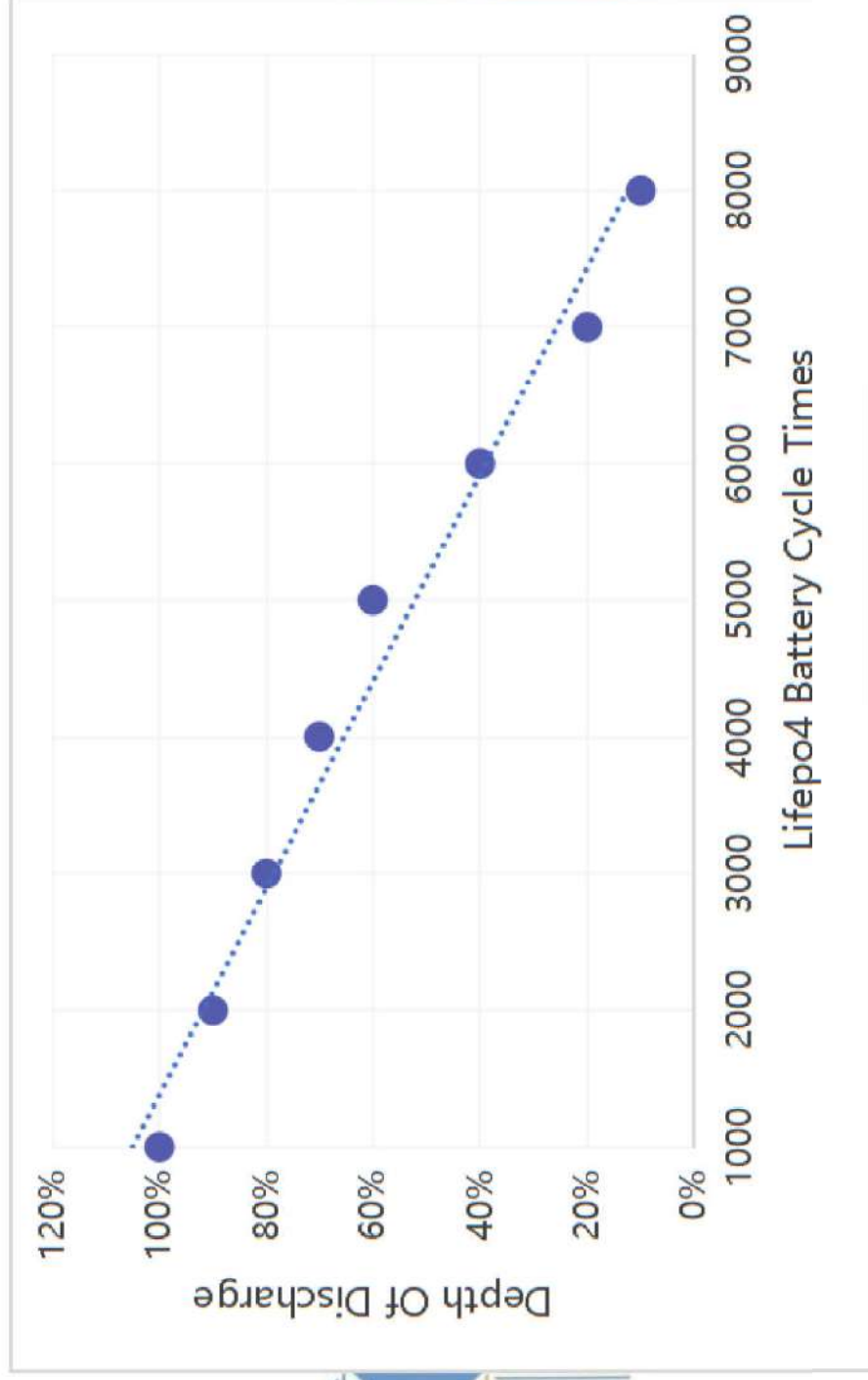


Рис. 6. Життєвий цикл батареї та глибина розряду

ПЛАТА МІКРО:ВІТ ЯК ОСНОВА ВИМІРЮВАЧА

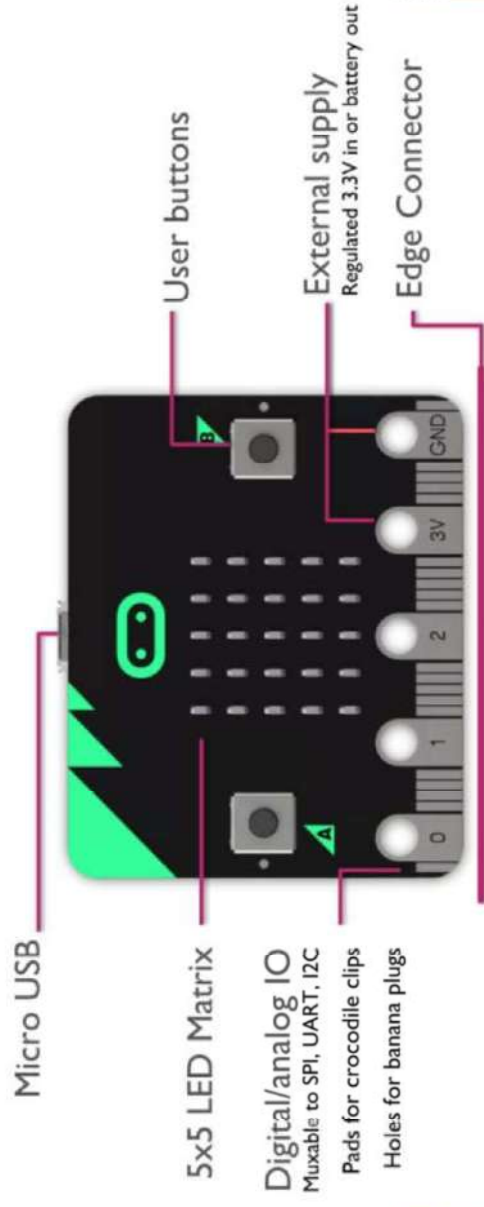


Рис. 7. Плата Micro:bit, вигляд спереду

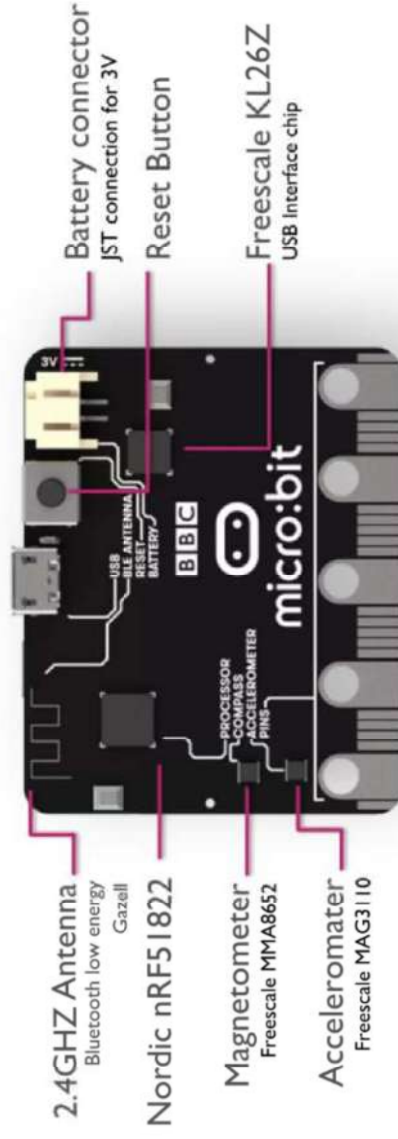


Рис. 8. Micro:bit вид ззаду

Умовна схема конструкції вимірювача показана на рисунку

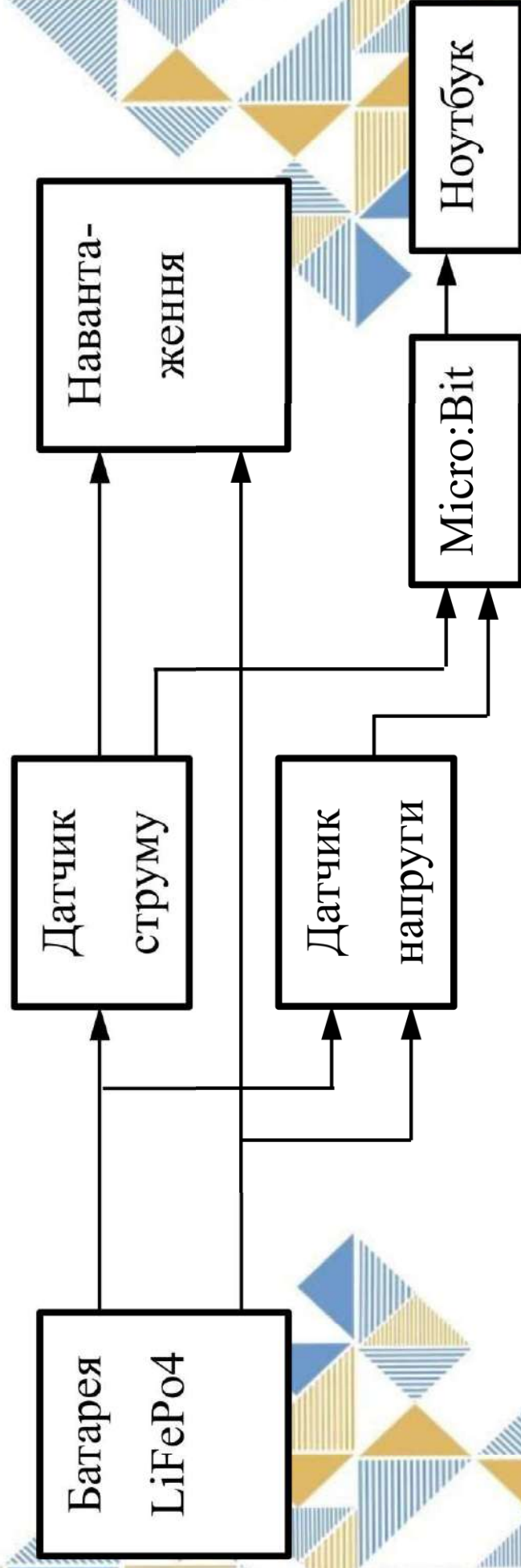


Рис. 9. Умовна схема конструкції вимірювача

Для перевірки конструкції використано набір KS4007, який дозволяє надзвичайно просто та швидко побудувати вимірювач.

У якості датчику струму використано модуль на базі датчика струму ACS712 (рис. 2.9), який використовує ефект Холла. Датчик забезпечує вимірювання сили струму від +30А до -30А. Сила струму в 0 ампер відповідає вихідній напрузі від датчика в 2,5 В.

Для того, щоб працювати з сигналом рівня 0,0 .. 3,0 В використана додаткова схема зсуву рівня сигналу з 2,5 В до 1,5 В за допомогою операційного підсилювача зі зсувом на -1,0 В вхідного сигналу.



Рис. 10. Датчик струму ACS712

Така операція виконується за допомоги типової схеми на операційному підсилювачі (рис. 2.10). Оскільки зсув рівня сигналу є постійним, то використаємо два постійних резистора, тому на резисторах R2-R3 створюється напруга зсуву -1,0В. А рівень підсилення задається відношенням резисторів R4/R1.

Таким чином, ми можемо вимірювати силу струму від 30А ($R4/R1 = 0,75$) до 1А ($R4/R1 = 22,5$). Вхід схеми підключається до виходу ACS712, а вихід схеми підключено до аналогового входу Р1 Micro:Bit.

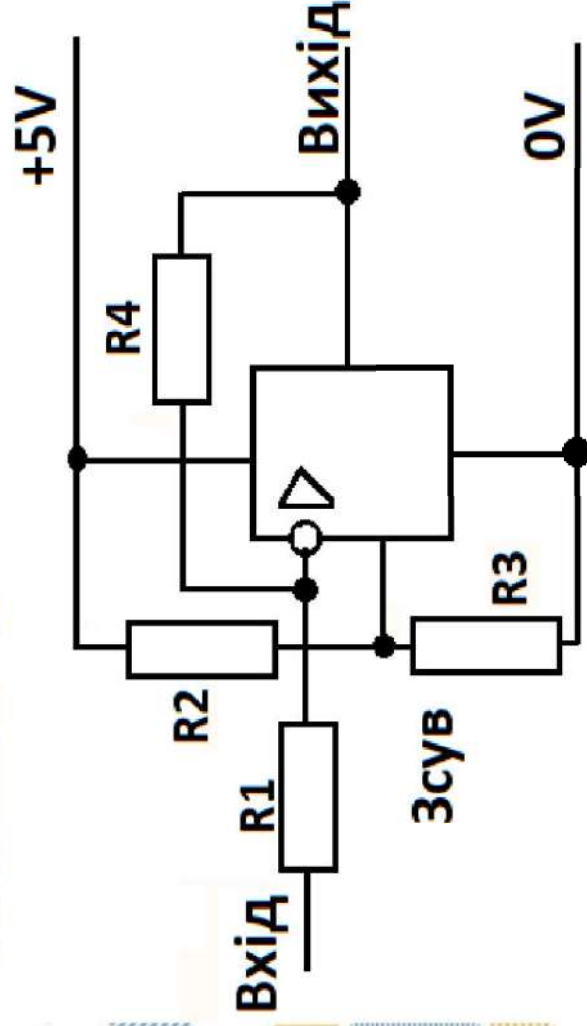


Рис. 11. Схема віднімання 1,0 В від вхідного сигналу датчику струму

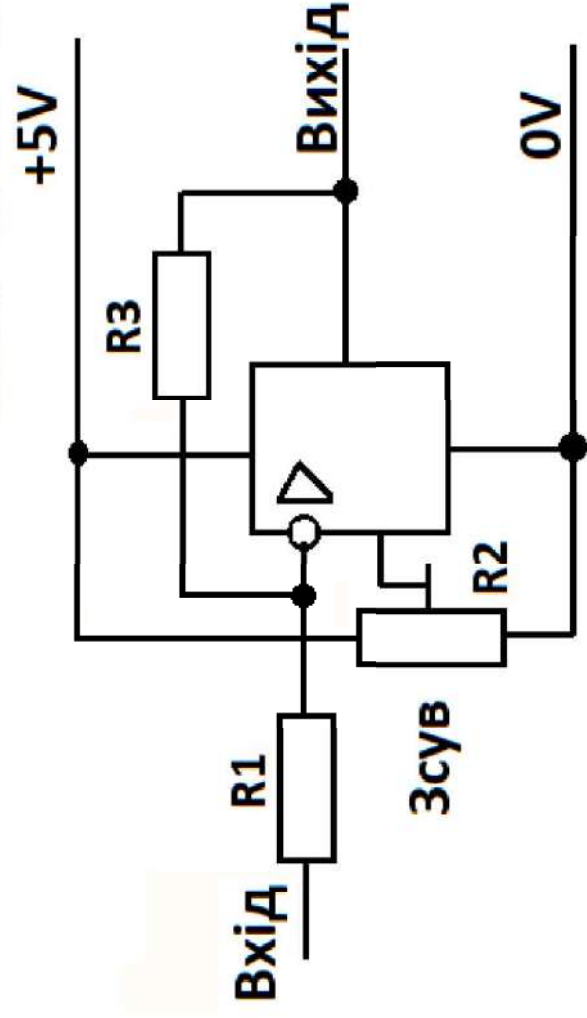


Рис.12. Схема віднімання напруги від вхідного сигналу датчику струму

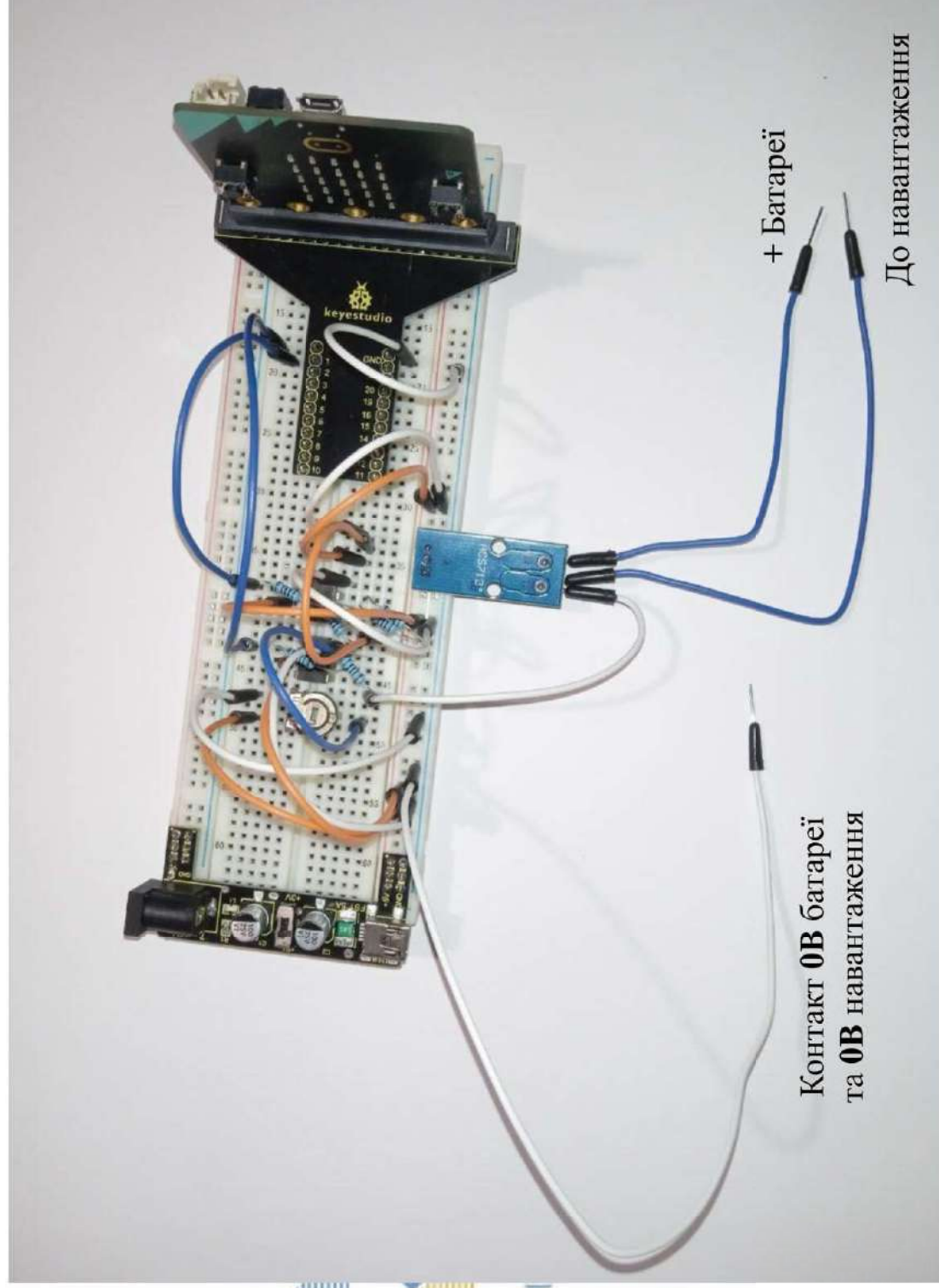


Рис.13. Пристрій для віддаленого контролю рівня заряду батареї LiFePo4

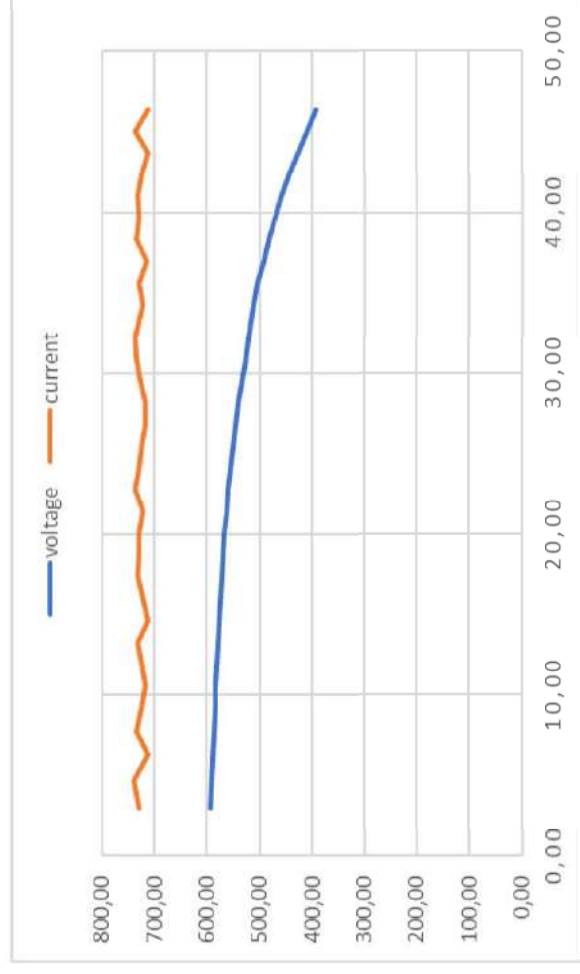


Рис.14. Діаграма зміни напруги та струму на батареї під час розряду



Рис. 15. Діаграма зміни інтервалу часу $\Delta\tau_i$.

1. Точне тестування внутрішнього опору батареї LiFePo4 має вирішальне значення для підтримки її продуктивності та безпеки. Знання того, як це зробити правильно, може заощадити ваш час, гроші та уникнути зайвого клопоту в майбутньому. Наявність відповідного обладнання та дотримання належних процедур допоможе забезпечити точні показники кожного разу.

2. Отже замість постійного моніторингу система працюватиме окремими точками, розташованими у ключових зонах графіка де точність вимірювання більш необхідна ніж на інших. Фаза різкого падіння напруги батареї критично важлива, оскільки дозволяє оптимізувати роботу пристрою який від неї працює. оскільки саме в цей момент потрібно максимально точно контролювати її стан, у цій зоні система може змінювати режим роботи пристрою для зменшення навантаження на батарею та захисту від глибокого розряду.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Слісаренко Вадим Сергійович на захист дипломного проекту (роботи)

(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 172 - Телекомунікації та радіотехніка

На тему: Адаптивний пристрій контролю рівня заряду батареї живлення

Дипломний проєкт (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.

Декан факультету



Антоніна Тоберуаркіна
(ім'я, прізвище)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Слісаренко В. С. за період навчання на факультеті інформаційних технологій з 2021 по 2025 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за: національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 34,78 %, задовільно 65,22 %. шкалою ЄКТС: А 2,33 %, В 6,98 %, С 18,60 %, D 23,26 %, E 48,84 %.

Методист факультету

(підпис)

Татьяна Козар
(ім'я, прізвище)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент

Вадим Сергійович Слісаренко виконав кваліфікаційний проєкт з дотриманням нагдарного плану. В роботі використано сучасну елементну базу та останні досягнення у створенні програмованих систем. Проєкт відповідає технічному завданню.

Оцінка дипломного проєкту (роботи)

Відмінно

Керівник дипломного проєкту

[Signature]
(підпис)

Гориченко Н.А.
(ім'я, прізвище)

" 11 " серпня 2025 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проєкт (роботу) розглянуто. Студент Слісаренко В. С. допускається до захисту цього проєкту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

ТМІТ

(назва)

" 11 " 08 2025 р.

(підпис, ім'я, прізвище)

[Signature] Медченко О.В.

Завідувачу кафедри телекомунікацій,
медійних та інтелектуальних технологій
Сергію ПІДЧЕНКУ
здобувача вищої студента, студента
Вадима СЛІСАРЕНКА,
4 курсу, гр. TP2-21-1

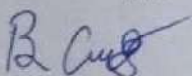
ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

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

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

30.05.2025
дата



Вадим СЛІСАРЕНКО

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 4.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 7%

ID: 244898 Title: Адаптивний пристрій контролю рівня заряду батареї живлення Added in a DB: 2025-06-11 Authors: Слісаренко Вадим Сергійович Heads: Горященко Костянтин Леонілович Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	55595	869	3118 (6%)	44 (5%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ ТМІТ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Назва кваліфікаційної роботи Адаптивний пристрій контролю рівня заряду батареї живлення
 Автор СЛІСАРЕНКО Вадим Сергійович
 Освітня програма телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій
 Рівень вищої освіти бакалавр
 Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
 Науковий керівник: ГОРЯЩЕНКО Костянтин Леонідович, к.т.н., доцент

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	+
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження: Виявлені співпадіння мають або посилання на джерела або є загально вживаними поясненнями щодо використання аббревіатур та/або окремих вузлів пристрою та функціональних закономірностей.
 Дата 10 червня 2025 р.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

<u>[Підпис]</u> Підпис	<u>Ім'я, ПРІЗВИЩЕ</u> Стецюк В.І. Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
<u>[Підпис]</u> Підпис	<u>Ім'я, ПРІЗВИЩЕ</u> Горещенко К.Л. Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

ВІДГУК

керівника на бакалаврський кваліфікаційний проєкт
на тему: "Адаптивний пристрій контролю рівня заряду батареї живлення"

Слісаренка Вадима Сергійовича

Бакалаврський кваліфікаційний проєкт виконано у поєднанні із дисципліною "Метрологія, стандартизація, випробування та сертифікація", в межах якої розглядались питання вимірювання та оцінювання результатів вимірювань. Студент Слісаренко Вадим Сергійович опрацьовував самостійно за літературними джерелами питання, що підняті в роботі.

Під час виконання бакалаврського кваліфікаційного проєкту Слісаренко Вадим проявив себе як відповідальний студент, здатний самостійно розв'язувати аналітичні та технічні задачі та досягати поставленої мети за досить обмежені часові рамки згідно технічного завдання на бакалаврську роботу. Розділи пояснювальної записки розкривають суть ТЗ і надають реальні дані з розрахунку та перевірки роботи пристрою.

До недоліків проєкту варто віднести відсутність автоматизації вибору діапазонів вимірювання напруг батарей та мінімальний інтерфейс взаємодії з оператором

В цілому бакалаврський кваліфікаційний проєкт виконано на належному рівні, тому вона заслуговує оцінки "відмінно", а студент Слісаренко Вадим Сергійович – заслуговує присудження освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавра з телекомунікацій за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Керівник бакалаврського кваліфі
к.т.н., доцент кафедри ТМІТ



Горященко К.Л.

РЕЦЕНЗІЯ

на бакалаврський кваліфікаційний проєкт

на тему: “Адаптивний пристрій контролю рівня заряду батареї живлення”

Слісаренка Вадима Сергійовича

Тема бакалаврського кваліфікаційного проєкту “Адаптивний пристрій контролю рівня заряду батареї живлення” є досить актуальною у зв’язку зі зростанням використання систем з автономним живленням. Як на основі звичайних хімічних елементів так і в тому числі використання акумуляторних батарей. Також автономні системи характеризуються і можливістю заряджання цих батарей під час роботи.

В першому розділі проєкту проведено докладне обґрунтування створення та застосування автоматизованої системи вимірювання параметрів та контролю із застосуванням мікропроцесорної техніки. Особливістю проєкту є використання готового мікромодуля MicroBit який має широкий спектр відкритого програмного забезпечення для створення програмного продукту.

В другому розділі проєкту дослідженні структурна схема пристрою контролю, проведено обґрунтування та розрахунок окремих складових, таких як вимірювачі струму та напруги. А також оцінено параметри блока живлення та розраховано фільтр низьких частот.

Проєкт має практичну складову. В третьому розділі проєкту представлено реалізацію запропонованих елементів схеми та перевірка роботи за допомогою складання експериментального зразку пристрою та виконання циклу перевірки за допомогою літій-залізно-фосфатної акумуляторної батареї великої ємності.

Для досягнення результату запропоновано використати також математичний апарат – алгоритм кускової апроксимації для визначення інтервалів часу для запису стану акумуляторної батареї під час заряду або розряду.

В цілому бакалаврський кваліфікаційний проєкт виконано на належному рівні, тому вона заслуговує оцінки "відмінно", а студент Слісаренко Вадим Сергійович – заслуговує присудження освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавра з телекомунікацій за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Рецензент

Джусульб Володимир Миколайович
к.т.н., с.р.ц.с.б. кафедри КбСРБЗНЕМ

11.06.2028 р.

