

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Бакалавр

Безпроводний павербанк з контролем через додаток
Wireless power bank with app-based control

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма «Телекомунікації, медійні технології
та інтелектуальні мережі»

КПТР.022072.01.03 ПЗ

Виконав: здобувач 4 курсу, група ТР2-22-1  Закордонець В.В.

Керівник: канд. техн. наук, доц.  Мішан В.В.

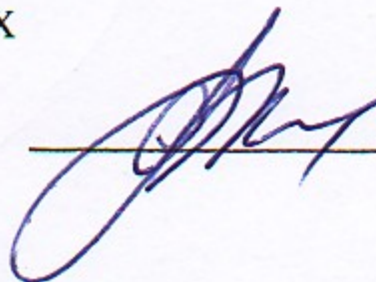
Нормоконтроль  Стецюк В.І.

До захисту допускаю:

Зав. кафедри телекомунікацій,

медійних та інтелектуальних

технологій



Підченко С.К.

Хмельницький, 2026

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

Освітній рівень бакалавр

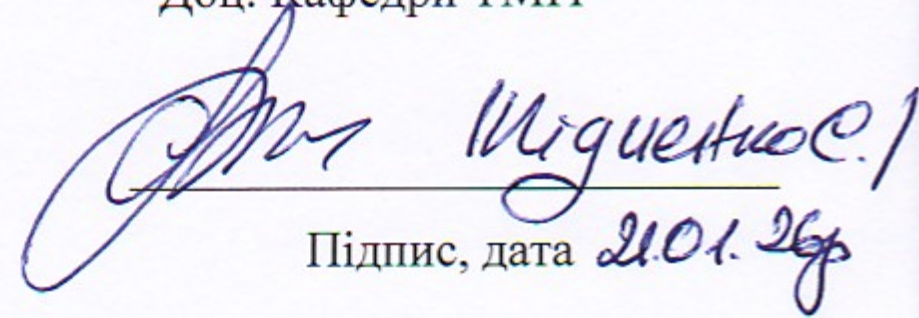
Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма «Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Доц. Кафедри ТМІТ


Підпис, дата 21.01.26р

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Закордонець Володимир Вікторович

Безпроводний павербанк з контролем через додаток
Wireless power bank with app-based control

Затверджено наказом по університету № 7 від «20» січня 2026 р.

керівник проекту Мішан Віктор Володимирович, к.т.н., доцент

Строк подання здобувачем проекту на кафедру: 01.06.2026р.

Вихідні дані до проєкту

- тип пристрою — портативне джерело живлення з індуктивною передачею енергії;
- джерело енергії — літій-іонний акумуляторний блок;
- система керування — мікроконтролер із бездротовим інтерфейсом

- інтерфейс зв'язку — Bluetooth Low Energy;
- контрольовані параметри — напруга, струм, температура, рівень заряду;
- індикація та моніторинг — мобільний застосунок;
- захист — від короткого замикання, перевантаження, перегріву.

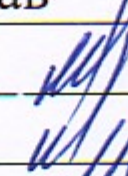

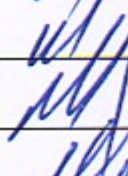
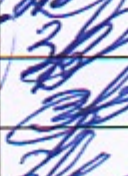
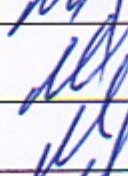

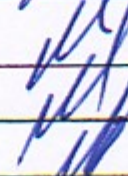
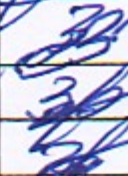
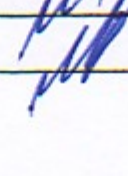
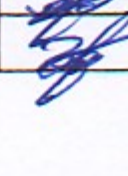


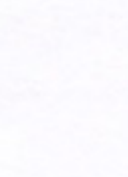

Зміст пояснювальної записки

- Аналіз сучасних рішень портативних систем живлення.
- Формування технічних вимог до пристрою.
- Розробка структурної схеми та принципу роботи.
- Вибір елементної бази та обґрунтування.
- Інженерні розрахунки основних параметрів.
- Опис алгоритму функціонування.
- Конструкторська частина.
- Висновки.

Перелік графічного матеріалу

- структурна схема пристрою;
- принципова електрична схема;
- блок-схема алгоритму роботи;
- схема взаємодії з мобільним застосунком;

Консультанти розділів кваліфікаційного проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та псада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Вступ	<u>Мішан В.В</u> , канд. техн. наук, доц.		
Розділ1	<u>Мішан В.В</u> , канд. техн. наук, доц.		
Розділ2	<u>Мішан В.В</u> , канд. техн. наук, доц.		
Розділ3	<u>Мішан В.В</u> , канд. техн. наук, доц.		
Розділ4	<u>Мішан В.В</u> , канд. техн. наук, доц.		
Розділ5	<u>Мішан В.В</u> , канд. техн. наук, доц.		
Висновок	<u>Мішан В.В</u> , канд. техн. наук, доц.		

Дата видачі завдання 21.01.2026р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування виду роботи	Форма звітності, термін виконання	Відмітка наукового керівника
1	Вибір та затвердження теми	Наказ ректора № 7 від 20.01.2026 р.	<i>виконав</i>
2	Розробка завдання	Затвержене технічне завдання (ТЗ), кінець січня 2026 р.	<i>виконав</i>
3	Складання графіку	Підписаний календарний план, кінець січня 2026 р.	<i>виконав</i>
4	Огляд літературних джерел	Розділ 1 пояснювальної записки (ПЗ), лютий 2026 р.	<i>виконав</i>
5	Вибір та техніко-економічне обґрунтування структурної схеми пристрою	Розділ 2 ПЗ, розробка структурної схеми павербанка, лютий 2026 р.	<i>виконав</i>
6	Розробка алгоритму	Блок-схеми алгоритмів прошивки та мобільного додатка, березень 2026 р.	<i>виконав</i>
7	Розробка програми	Вихідний код (C/C++ та мобільний інтерфейс), березень – квітень 2026 р.	<i>виконав</i>
8	Розробка текстової частини	Повний текст пояснювальної записки (згідно з ДСТУ), квітень 2026 р.	<i>виконав</i>
9	Розробка графічної частини	Схеми електричні принципові (ЕЗ), кінець квітня 2026 р.	<i>виконав</i>
10	Остаточне коригування	Результати нормоконтролю, виправлення зауважень керівника, травень 2026 р.	<i>виконав</i>
11	Підготовка до захисту	Подання на рецензію, відгук керівника, презентація та доповідь, червень 2026 р.	<i>виконав</i>
12	Захист	Виступ перед екзаменаційною комісією, червень 2026 р.	<i>виконав</i>

Студент

Керівник проекту

Закордонєць В.В.


Мішан В.В.

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційного проекту:

«Безпроводний павербанк з контролем через додаток».

Автор роботи: Закордонець Володимир Вікторович.

Місце виконання: Хмельницький національний університет.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ІНДУКТИВНА ПЕРЕДАЧА ЕНЕРГІЇ, DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧ, BMS, ЛІТІЙ-ІОННИЙ АКУМУЛЯТОР, МІКРОКОНТРОЛЕР, ТЕЛЕМЕТРІЯ, BLUETOOTH LOW ENERGY, ТЕПЛОВИЙ КОНТРОЛЬ, ЗАХИСТ ЖИВЛЕННЯ.

У кваліфікаційному проекті розроблено функціонально завершений пристрій портативного енергоживлення з індуктивною передачею потужності та інтегрованою підсистемою збору і передачі експлуатаційних параметрів. Енергетична частина базується на акумуляторному блоці з літій-іонних елементів стандарту 18650, керованою системою балансування та захисту (BMS), що забезпечує контроль граничних режимів за напругою, струмом і температурою.

Передавання енергії споживачу реалізовано за резонансно-індуктивним принципом із використанням перетворювача постійної напруги, драйвера передавальної котушки та приймального модуля з випрямленням і стабілізацією вихідних параметрів. Проведено структурну декомпозицію системи на енергетичну, вимірювальну та інформаційно-комунікаційну підсистеми з визначенням їх інтерфейсної взаємодії.

Інформаційно-вимірювальний тракт побудовано на базі мікроконтролера з АЦП, який виконує дискретизацію сигналів датчиків струму, напруги та температури, цифрову фільтрацію, оцінювання стану

7. 06. 2019.



заряду (SoC) і формування телеметричних пакетів. Передача даних до мобільного застосунку здійснюється через бездротовий канал Bluetooth Low Energy з періодичною синхронізацією та обробкою подій аварійних режимів.

У роботі сформовано алгоритми заряду/розряду з урахуванням теплових обмежень, виконано розрахунок енергетичних втрат у ланцюгах перетворення, оцінено ефективність індуктивного каналу, а також обґрунтовано схеми захисту від короткого замикання, перенапруги, перевантаження та перегріву. Запропоноване технічне рішення підвищує інформативність експлуатації портативних джерел живлення, розширює функціональність керування режимами роботи та забезпечує контроль безпеки в реальному часі.

ВІДОМОСТІ КВАЛІФІКАЦІЙНОГО ПРОЄКТУ

Поз.	Формат	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
Текстова частина					
1	A4	КПТР.022072.01.03 ПЗ	Пояснювальна записка	1	71 арк.
Графічна частина					
2	A1	КПТР.022072.01.03 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
3	A4	КПТР.022072.01.03 ПЕЗ	Перелік елементів	2	
4	A1	КПТР.022072.01.03 Е1	Схема електрична структурна	1	
5	A1	КПТР.022072.01.03 БС	Блок-схема алгоритму роботи	1	

					КПТР.022072.01.03 ВП			
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис/Пі	Дата				
Розроб.		Закордонєць В.В.		10.06.20	Безпровідний павербанк з контролем через додаток Відомість дипломного проекту	Лім.Лім	Арк.Арк.	АкрушієАкру
Перевір.		Мішан В.В.		10.06.20			7	71
Реценз.						ФІТ, ХНУФІТ, ХНУ		
Н. Контр.		Стецюк В.І.		10.06				
Затверд.		Підченко С.К.		12.06.20				

ЗМІСТ

Вступ	11
Розділ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ	14
1.1 Особливості сучасних портативних систем енергопостачання.	14
1.2 Аналіз комерційних моделей павербанків з бездротовою зарядкою.	15
1.3 Основні недоліки типових рішень.	19
Розділ 2. РОЗРОБКА КОНЦЕПТУ ТА ВИМОГ	22
2.1 Визначення функціональних та технічних вимог до павербанку.	22
2.2 Обґрунтування вибору архітектури енергетичної та інформаційної частин.	24
2.3 Розробка структурної схеми та блок-схеми взаємодії підсистем.	27
2.4 Вибір типу акумуляторів та енергетичних модулів.	29
2.5 Формування алгоритмів роботи, режимів заряду/розряду та захисту від перевантажень.	32
Розділ 3. ІНЖЕНЕРНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ РОЗРАХУНКИ	38
3.1 Розрахунок основних параметрів енергетичної підсистеми: ємність, напруга, струм заряду/розряду.	38
3.2 Розрахунок ефективності індуктивної передачі енергії та втрат.	41
3.3 Теплові розрахунки та методи контролю температури акумулятора та плати.	44
3.4 Розробка схем захисту від короткого замикання, перенапруги та перегріву.	47
Розділ 4. ПРОЄКТУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ І КОМУНІКАЦІЙНОЇ ПІДСИСТЕМИ	51
4.1 Вибір і розташування датчиків струму, напруги та температури.	51

4.2 Розробка схеми збору та обробки даних мікроконтролером.	54
4.3 Організація бездротового каналу передачі даних (Bluetooth).	56
4.4 Створення інтерфейсу мобільного застосунку для відображення телеметрії.	58
4.5 Алгоритм обміну даними між підсистемами та користувачем.	61
РОЗДІЛ 5. КОНСТРУКТОРСЬКА ДОКУМЕНТАЦІЯ	65
5.1 Принципова електрична схема розробленого пристрою.	65
5.2 Блок-схема взаємодії енергетичної, вимірювальної та інформаційної підсистем.	65
5.3 Перелік елементів із технічними характеристиками.	67
ВИСНОВОК	68
Список літератури	70

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

БМС (BMS) – система керування акумуляторною батареєю (Battery Management System)

ККД – коефіцієнт корисної дії

МК – мікроконтролер

ПЗ – пояснювальна записка (або програмне забезпечення, залежно від контексту)

ШИМ (PWM) – широтно-імпульсна модуляція

BLE – Bluetooth Low Energy (безпроводний протокол з низьким енергоспоживанням)

CC/CV – Constant Current / Constant Voltage (алгоритм заряду: постійний струм / постійна напруга)

DC-DC – перетворювач постійної напруги

Li-ion – літій-іонний акумулятор

NTC – термістор з негативним температурним коефіцієнтом

Qi – стандарт бездротової індуктивної передачі енергії

SoC – State of Charge (рівень заряду акумулятора у відсотках)

USB – Universal Serial Bus (універсальна послідовна шина)

	2				КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

ВСТУП

Теперішній вектор поступу інформаційно-комунікаційних інфраструктур визначається глобальним інтегруванням мобільних радіотехнічних комплексів, абонентських смарт-терміналів та автономних сегментів Інтернету речей (IoT). Перманентне зростання інтенсивності інформаційного обміну, впровадження широкосмугових бездротових радіоінтерфейсів та розширення обчислювального потенціалу портативних гаджетів супроводжуються суттєвим збільшенням їхнього енергоспоживання. За таких обставин критично важливим завданням є створення високонадійних мобільних джерел живлення, спроможних підтримувати стабільну працездатність телекомунікаційних вузлів за умов повної відсутності доступу до централізованих електромереж.

Традиційні комерційні зовнішні акумулятори (павербанки) здебільшого орієнтовані виключно на забезпечення базових фізичних процесів накопичення та дротового розподілу електричної потужності. Їхні інформаційно-вимірювальні ланцюги є примітивними або зведеними до грубої дискретної світлодіодної індикації. Наявні на ринку зразки не дають можливості здійснювати повноцінний моніторинг поточного технічного стану хімічних джерел струму, що значно ускладнює точне прогнозування часових інтервалів розряду, своєчасне виявлення деградації комірок та оперативний контроль параметрів безпеки під час безпосередньої експлуатації.

Особливої ваги набуває поєднання безконтактних індукційних методів транспортування енергії (за стандартом Qi) з гнучкими мікроконтролерними архітектурами, які підтримують енергоефективні протоколи радіозв'язку, зокрема Bluetooth Low Energy (BLE). Інтегрування вимірювальних систем динамічного збору телеметричної інформації та радіоканалів дозволяє транслювати точні експлуатаційні показники пристрою (величину струму, напруги, температурних градієнтів) у реальному часі на персональний мобільний термінал користувача. Такий інженерний підхід трансформує

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

накопичувач енергії з пасивного елемента живлення на інтелектуальний вузол із функціями превентивного діагностування аварійних режимів та адаптивного менеджменту процесів енергорозподілу.

Об'єктом дослідження є фізичні процеси акумулювання, імпульсного перетворення, розподілу та безконтактної індуктивної передачі електричної енергії в автономних портативних пристроях живлення.

Предметом дослідження є архітектурні принципи побудови, схемотехнічні рішення та програмні алгоритми функціонування інтегрованих енергетичних, вимірювальних та інформаційно-комунікаційних підсистем бездротового накопичувача з дистанційним моніторингом параметрів.

Метою кваліфікаційного проекту є розробка інтелектуального портативного джерела живлення з функцією резонансно-індуктивної передачі потужності та архітектурою безперервного бездротового контролю експлуатаційних параметрів через спеціалізований мобільний застосунок.

Для реалізації поставленої мети у роботі сформовано та вирішено такі завдання:

- здійснити системний аналіз наявних архітектурних концепцій та комерційних зразків мобільних систем живлення для виявлення їхніх функціональних та конструктивних недоліків;
- сформулювати комплексні технічні та експлуатаційні вимоги до проєктуємого індуктивного павербанка;
- обґрунтувати вибір елементної бази, силових електронних компонентів та керуючого мікроконтролерного модуля з вбудованими радіоінтерфейсами;
- розробити структурну та принципову електричну схеми пристрою, виконавши оптимізацію зв'язків між силовою та інформаційною підсистемами;
- виконати інженерні, енергетичні та теплові розрахунки основних параметрів системи для підтвердження безпечності та ефективності її роботи;

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

- синтезувати алгоритми програмного забезпечення мікроконтролера для реалізації багаторівневого захисту та стабільної трансляції телеметричних пакетів даних.

Практична цінність отриманих результатів полягає у створенні завершеного апаратно-програмного рішення мобільного акумулятора, яке поєднує силові ланцюги індуктивного передавача з інформаційною системою збору даних. Впровадження інтелектуального моніторингу суттєво підвищує інформативність експлуатації, оптимізує теплові та струмові режими роботи літій-іонного акумуляторного масиву, подовжує термін його служби та гарантує високий рівень експлуатаційної безпеки кінцевого користувача. Спроектowana система може слугувати універсальною апаратною платформою для створення спеціалізованих систем автономного живлення елементів сучасних інфокомунікаційних мереж.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

1.1 Особливості сучасних портативних систем енергопостачання

Сучасні портативні системи енергопостачання забезпечують автономне живлення мобільних електронних пристроїв і техніки за відсутності стаціонарної електромережі. До цієї групи належать павербанки, портативні зарядні станції та мобільні електростанції, що широко застосовуються як у повсякденній практиці, так і під час аварійних відключень або роботи в польових умовах [7].

Основою більшості портативних джерел живлення є акумуляторні батареї, переважно літій-іонного (Li-ion) або літій-полімерного (Li-Po) типу. Вони характеризуються високою питомою енергією, відносно малою масою та значною кількістю робочих циклів, що забезпечує ефективне багаторазове заряджання і розряджання з обмеженими енергетичними втратами [6, 20]. Завдяки цьому такі системи здатні живити смартфони, планшети, ноутбуки та інші електронні пристрої протягом тривалого часу без підключення до мережі.

Портативні електростанції великої ємності поєднують акумуляторний модуль, інверторні перетворювачі та системи керування енергоспоживанням. Це дає змогу забезпечувати живлення як низьковольтних навантажень (через USB-інтерфейси), так і побутових приладів змінного струму. Подібні рішення є ефективними під час тривалих перерв у електропостачанні або за обмеженого доступу до стаціонарної мережі [7, 19].

Важливою характеристикою сучасних портативних систем є підвищений рівень енергоефективності та безпеки. У типових пристроях реалізовано комплексні функції захисту від короткого замикання,

					КПТР.022072.01.03 ПЗ			
Змн.	Арк.А	№ докум.№	ПідписПі	Дата	Безпроводний павербанк з контролем через додаток Пояснювальна записка	Літ.Літ	Арк.Арк.	АкрушівАкру
Розроб.		Закордонець В.		7.06.26			14	
Перевір.		Мішан В.В.		9.06.26				
Реценз.								
Н. Контр.		Стецюк В.І		12.06				
Затверд.		Підченко С.К.		12.06.26				
					ФІТ, ХНУФІТ, ХНУ			

перенапруги, перегріву та перезарядження, що знижує ризик пошкодження обладнання та підвищує надійність експлуатації [6]. Додатково

використовуються алгоритми керування процесами зарядження і розрядження, спрямовані на оптимізацію енергетичних режимів та подовження ресурсу акумуляторів [7].

Отже, сучасні портативні системи енергопостачання поєднують функції накопичення, перетворення та безпечної передачі електричної енергії, що визначає їх важливу роль у структурі мобільних систем живлення [6–7].

1.2 Аналіз комерційних моделей павербанків з бездротовою зарядкою

Сучасний ринок портативних джерел живлення пропонує широкий спектр рішень, які відрізняються за ємністю, масово-габаритними показниками, типами інтерфейсів та підтримуваними протоколами швидкої зарядки. Для визначення оптимальних орієнтирів проектування та виявлення конструктивних недоліків серійних пристроїв доцільно провести детальний інженерний аналіз найбільш поширених комерційних моделей від провідних виробників, таких як Xiaomi, Anker, Belkin та VARTA. Одним із найпопулярніших представників базового сегмента є модель Xiaomi Mi Power Bank 10 000 mAh. Зовнішній вигляд цього пристрою представлено на (рисинку 1.1).



					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Рисунок 1.1 – Xiaomi Wireless Power Bank 10 000 mAh Даний апарат орієнтований на мобільність і використовує літій-іонний акумуляторний масив ємністю 10000 мАг. Перетворювальний тракт пристрою підтримує технології швидкої провідної зарядки з максимальною вихідною потужністю до 33 Вт , а безпроводний модуль забезпечує передачу енергії за стандартом Qi з потужністю до 7,5 Вт . Основною перевагою архітектури від Xiaomi є вбудована регульована підставка та комплексна апаратна система захисту, що забезпечує моніторинг короткого замикання, перенапруги та перегріву.

Однак інформаційна підсистема цієї моделі обмежена спрощеною світлодіодною індикацією рівня заряду, а повноцінна телеметрія та температурний моніторинг для користувача повністю відсутні.

Наступним функціональним безпроводним аналогом є модель Anker PowerCore II 10 000 mAh Wireless , конструктивне виконання якої зображено на рисунку(1.2)



Рисунок 1.2 – Anker PowerCore II 10 000 mAh Wireless

Особливістю цього рішення є інтеграція системи PowerIQ для автоматичної оптимізації струму заряду залежно від підключеного навантаження , а також вбудований захисний комплекс MultiProtect із контролем граничних режимів за напругою та апаратним захистом від перегріву. Проте, з погляду інформаційної взаємодії, пристрій залишається ізольованим: дискретна світлодіодна (LED) панель відображає лише орієнтовний рівень залишку енергії , а можливість віддаленого зчитування точних параметрів у реальному часі відсутня.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Також у бездротовому сегменті поширене рішення Belkin Boost Charge 10 000 mAh + Wireless , наведене на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Belkin Boost Charge 10 000 mAh + Wireless

Цей пристрій оснащений портами USB-C (вхід/вихід) потужністю до 18 Вт та USB-A потужністю до 12 Вт . Важливою перевагою архітектури Belkin є підтримка наскрізної зарядки (Pass-through), що дозволяє заряджати телефон бездротовим способом одночасно з поповненням енергії самого павербанка. Захист містить систему виявлення сторонніх предметів (FOD) на котушці , проте система індикації знову ж таки обмежена простими світлодіодами (25%, 50%, 75%, 100%) і не дає доступу до детальної телеметрії пристрою.

Для порівняння різноманітності конструктивних підходів та дизайну на ринку, на (рисунках 1.4, 1.5 та 1.6) представлено моделі УМБ 2Е 10 000 mAh , VARTA Wireless 15 000 mAh та тематичний пристрій OTL Pokémon 5 000 mAh.



Рисунок 1.4 – УМБ 2Е Wireless Power Bank 10 000 mAh

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17



Рисунок 1.5 – VARTA Wireless Power Bank 15 000 mAh



Рисунок 1.6 – OTL Pokémon Wireless Power Bank 5 000 mAh

Усі зазначені пристрої (рис. 1.4 – 1.6) мають схожі апаратні обмеження. Вони реалізують стандартну індуктивну передачу енергії потужністю до 10–15 Вт та базові реактивні схеми захисту від глибокого розряду чи перевантаження, але повністю позбавлені систем інтелектуального моніторингу, теплового менеджменту та бездротових інтерфейсів зв'язку для передачі даних користувачу. Зведена порівняльна характеристика розглянутих комерційних моделей та проектного бездротового павербанка наведена в (таблиці 1.1.)

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Таблиця 1.1 — Аналіз комерційних моделей павербанків з бездротовою зарядкою

Пристрій	Ємність (mAh)	Потужність	Інтерфейси	Функції контролю та моніторингу
Xiaomi Wireless Power Bank 10 000 mAh	10 000	до 10 Вт	USB-C, USB-A, Qi	індикація рівня заряду
				немає температурного моніторингу
				немає телеметрії
Anker PowerCore II 10 000 mAh Wireless	10 000	до ~10 Вт	USB-C, USB-A, Qi	індикація рівня заряду
				немає температурного моніторингу
				немає телеметрії
Belkin Boost Charge 10 000 mAh + Wireless	10 000	до ~7,5 Вт	USB-A, Qi	індикація стану батареї
				немає температурного моніторингу
				немає телеметрії
УМБ 2E Wireless Power Bank 10 000 mAh	10 000	до ~15 Вт	USB-C, Qi, PD	індикація рівня заряду
				немає телеметрії
				немає контролю
VARTA Wireless Power Bank 15 000 mAh	15 000	до ~10 Вт	USB-C, USB-A, Qi	LED-індикатори
				немає температурного моніторингу
				немає телеметрії
OTL Pokémon Wireless Power Bank 5 000 mAh	5 000	~10 Вт	Qi, USB	індикація заряду
				немає телеметрії
				немає контролю

1.3 . Основні недоліки типових рішень

Результати аналізу сучасних портативних джерел живлення з функцією бездротової передачі енергії свідчать про наявність ряду конструктивних та функціональних обмежень, що знижують ефективність їх використання та не забезпечують повноцінного контролю енергетичних процесів у системі.

Недостатній рівень контролю електричних параметрів

						КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			19

Більшість серійних павербанків оснащується спрощеними засобами індикації, які відображають лише орієнтовний рівень заряду акумулятора. Такі засоби не забезпечують вимірювання ключових параметрів режиму роботи, зокрема:

- напруги акумуляторного блоку;
- струму заряджання та віддачі енергії;
- миттєвої споживаної потужності;
- температурного стану елементів живлення.

Обмеженість вимірювальної інформації унеможливорює об'єктивну оцінку енергоефективності та технічного стану пристрою під час експлуатації.

Відсутність системи дистанційного спостереження

Типові комерційні рішення не передбачають передачу телеметричних даних до зовнішніх пристроїв або інформаційних систем. Унаслідок цього користувач не має можливості:

- здійснювати віддалений контроль параметрів роботи;
- аналізувати історію циклів заряджання та розряджання;
- виконувати діагностику стану акумулятора;
- оцінювати залишковий ресурс батареї.

Відсутність каналів інформаційної взаємодії знижує рівень керованості системи живлення.

Обмежена ефективність систем захисту

Хоча більшість пристроїв обладнана базовими схемами електричного захисту, їх функціонування має реактивний характер. Захисні механізми спрацьовують після виникнення критичних режимів, не забезпечуючи попереджувального контролю або адаптивного регулювання параметрів роботи.

Такий підхід не дозволяє своєчасно виявляти процеси деградації акумуляторних елементів і не сприяє підвищенню довговічності системи.

Недостатня інформативність інтерфейсу користувача

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Засоби взаємодії з користувачем у більшості пристроїв обмежені світлодіодною індикацією стану. Подібне рішення не забезпечує детального відображення робочих параметрів та не передбачає можливості налаштування режимів функціонування. Відсутність цифрових або програмних інтерфейсів обмежує зручність експлуатації та можливість оптимізації енергоспоживання.

Відсутність інтелектуального керування процесами енергопередачі

Сучасні серійні павербанки, як правило, не реалізують алгоритмів адаптивного керування процесами заряджання та розряджання з урахуванням температурного режиму, навантаження або технічного стану акумулятора. Відсутність інтелектуальних механізмів оптимізації призводить до зниження загальної енергоефективності та прискорення зношування батареї.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНЦЕПТУ ТА ВИМОГ

2.1 Визначення функціональних та технічних вимог до павербанку.

Формування функціональних і технічних вимог до розроблюваного портативного джерела живлення здійснюється на основі аналізу існуючих комерційних рішень, визначених недоліків типових конструкцій та необхідності реалізації системи дистанційного моніторингу параметрів роботи.[8-10]

Проектований павербанк повинен забезпечувати автономне накопичення електричної енергії, бездротову передачу потужності споживачам, вимірювання електричних параметрів та передачу телеметричних даних до мобільного пристрою користувача. [9, 11]

Функціональні вимоги до системи

Розроблюваний пристрій повинен реалізовувати такі функції:

- накопичення та зберігання електричної енергії в акумуляторному блоці[12]
- бездротову передачу енергії за індуктивним принципом[11]
- стабілізацію вихідної напруги для живлення електронних вузлів[13]
- вимірювання струму, напруги та температури[14]
- контроль безпечних режимів роботи акумулятора[6, 12]
- передачу телеметричних даних через бездротові канали зв'язку[15]
- візуальну індикацію стану роботи
- можливість інтеграції з мобільним застосунком

Технічні вимоги до основних підсистем

КПТР.022072.01.03 ПЗ									
Змн.	Арк.А	№ докум.№	ПідписПі	Дата	Безпроводний павербанк з контролем через додаток Пояснювальна записка	Лім.Лім	Арк.Арк.	АкрушієАкру	
		Закордонець В.		70626				22	
		Мішан В.В.		80626					
		Реценз.							
		Н. Контр. Стецюк В.І		12.06					
		Затверд. Підченко С.К.		12.06.18				ФІТ, ХНУФІТ, ХНУ	

Енергетична підсистема повинна забезпечувати достатню ємність акумулятора, стабільність вихідних параметрів та безпечні режими експлуатації. Вимірювальна підсистема повинна забезпечувати контроль ключових параметрів роботи з достатньою точністю для оцінки енергетичного стану пристрою. Інформаційна підсистема має виконувати функції збору даних, їх обробки та передачі користувачу. Конструктивна частина повинна забезпечувати механічну міцність, тепловідведення та ергономіку використання.

Склад основних функціональних вузлів та їх параметри наведено в (таблиці 2.1).

Таблиця 2.1 — Основні компоненти та технічні вимоги

№	Підсистема	Компонент	Параметри	Призначення
1	2	3	4	5
1	Енергетична	Li-Ion акумулятор 18650	3,7 В; 3400–3500 мА·год (схема 1S4P)	Автономне накопичення та зберігання енергії
2	Енергетична	Система BMS (DW01A + FS8205)	Захист від КЗ, перенапруги, перерозряду	Апаратний контроль безпечних режимів роботи
3	Енергетична	Модуль бездротової зарядки Qi	Потужність 5 Вт, частота 110–205 кГц	Резонансно-індуктивна передача енергії
4	Енергетична	DC-DC перетворювач (Boost)	Вхід: 3,0–4,2 В, вихід: стабільні 5,0 В	Стабілізація напруги живлення Qi-передавача
5	Вимірювальна	Датчик струму ACS712	Діапазон вимірювання: 0–5 А,	Контроль струму заряду та розряду системи
6	Вимірювальна	Резистивний подільник напруги	Опір: 100 кОм / 15 кОм, вихід: 0–3,3 В	Зниження напруги батареї для безпечного АЦП

1	2	3	4	5
7	Вимірювальна	Датчик температури (Термістор NTC)	Опір: 10 кОм, аналоговий відгук (В-constant)	Динамічний тепловий моніторинг критичних зон
8	Інформаційна	Мікроконтролер ESP32-WROOM-32	32-бітний двоядерний процесор, АЦП 12-біт	Центральне керування, обробка даних та телеметрія
9	Інформаційна	Радіомодуль BLE (Bluetooth Low Energy)	Робоча частота: 2,4 ГГц, дальність: 10–30 м	Енергоефективна бездротова передача даних на смартфон
10	Конструктивна	Друкована плата (PCB)	Двостороння, FR-4, з екранувальними полігонами	Монтаж компонентів та захист від завад
11	Конструктивна	Корпус пристрою	Матеріал: ABS або PC+ABS пластик	Механічний захист та ергономіка павербанка
12	Конструктивна	Кнопки та LED-індикація	Світлодіоди низького енергоспоживання	Локальне керування та візуальне відображення стану

2.2 Обґрунтування вибору архітектури енергетичної та інформаційної частин

Структурна організація розроблюваного павербанка визначається необхідністю забезпечення стабільного енергоживлення, контролю робочих параметрів та передачі інформації користувачу в реальному часі. Вибір

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

КПТР.022072.01.03 ПЗ

архітектури здійснювався з урахуванням критеріїв енергоефективності, надійності, безпеки та можливості інтеграції засобів дистанційного моніторингу.

Обґрунтування побудови енергетичної частини

Енергетична частина реалізує функції накопичення, перетворення та розподілу електричної енергії між силовими та інформаційними вузлами. Основою системи є акумуляторний блок із контролем режимів роботи та стабілізацією вихідних параметрів.

Використання літій-Ion акумулятора обумовлене його високою питомою енергоємністю, низьким внутрішнім опором і можливістю формування компактних батарейних пакетів різної конфігурації. Це дозволяє досягти прийняттого співвідношення маси, габаритів і запасу енергії. [12,17]

Контроль електричних і теплових режимів акумулятора забезпечується системою керування батареєю (BMS), яка виконує функції обмеження струму, захисту від перенапруги та глибокого розряду, а також запобігає перегріву елементів живлення. Включення BMS до структури пристрою підвищує експлуатаційну надійність та безпеку.

Для формування стабілізованих рівнів напруги застосовується імпульсний DC–DC перетворювач. Його використання дозволяє підтримувати необхідні параметри живлення незалежно від ступеня розряду акумулятора та зменшує теплові втрати порівняно з лінійними стабілізаторами.

Передача енергії до зовнішніх споживачів здійснюється через індуктивний модуль стандарту Qi, який забезпечує безконтактну подачу потужності. Такий спосіб живлення підвищує зручність експлуатації та зменшує механічне зношування контактних елементів.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, енергетична частина функціонує як послідовна система перетворення енергії: акумуляторний блок → система керування батареєю → вузол стабілізації → споживачі та передавач бездротової енергії.

Обґрунтування побудови інформаційної частини

Інформаційна частина призначена для збору вимірювальних даних, їх цифрової обробки та передачі користувачу. Її архітектура базується на централізованому керуванні із застосуванням мікроконтролерного модуля з інтегрованими бездротовими інтерфейсами.

Керуючим елементом системи обрано мікроконтролерний модуль ESP32-WROOM-32 виробництва Espressif Systems.

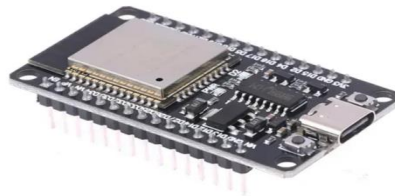


Рисунок 2.1 — мікроконтролерний модуль ESP32-WROOM-32

Його функціональні можливості дозволяють об'єднати вимірювальні, обчислювальні та комунікаційні процеси в одному апаратному вузлі, що зменшує складність схеми та енергоспоживання. [4,16]

Контроль параметрів роботи здійснюється шляхом вимірювання струму, напруги та температури за допомогою відповідних сенсорів, сигнали яких перетворюються в цифрову форму засобами вбудованого аналого-цифрового перетворювача. Такий підхід забезпечує безперервний моніторинг енергетичних процесів і створює передумови для реалізації алгоритмів діагностики стану акумулятора.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Передача інформації користувачу здійснюється бездротовими каналами зв'язку. Технологія Bluetooth Low Energy використовується для локального обміну даними зі смартфоном із мінімальним енергоспоживанням, тоді як Wi-Fi забезпечує можливість інтеграції пристрою в мережеву інфраструктуру. [15,18]

Модульна організація інформаційної частини дозволяє масштабувати функціональні можливості системи без зміни базової структури.

2.3 Розробка структурної схеми та блок-схеми взаємодії підсистем.

У цьому підпункті представлено два ключові графічні елементи, що ілюструють внутрішню організацію павербанку та взаємодію його підсистем.

Рис.2.2 демонструє спрощену схему потоків енергії та даних у розробленому пристрої. Схема відображає основні шляхи передачі електричної енергії від акумуляторних блоків до вихідних навантажень та зарядних модулів. Паралельно показано, як дані з датчиків струму, напруги та температури передаються до мікроконтролера для подальшої обробки та виведення на користувацький інтерфейс мобільного додатку.

Рис.2.3 являє собою блок-схему взаємодії основних підсистем:

- Енергетична підсистема відповідає за накопичення, розподіл та контроль електричної енергії.
- Вимірювальна підсистема забезпечує збір інформації про напругу, струм та температуру, що дозволяє контролювати стан акумулятора та навантажень.
- Інформаційна підсистема опрацьовує отримані дані, передає їх через безпроводний канал зв'язку і відображає у мобільному

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– застосунку, забезпечуючи користувачу зручний доступ до телеметрії.

Блок-схема показує напрямки потоків енергії та інформації між підсистемами, що дозволяє наочно оцінити функціональну взаємодію всіх елементів пристрою. Для наочності на схемі різними кольорами позначені потоки енергії та даних, що полегшує розуміння структури системи.

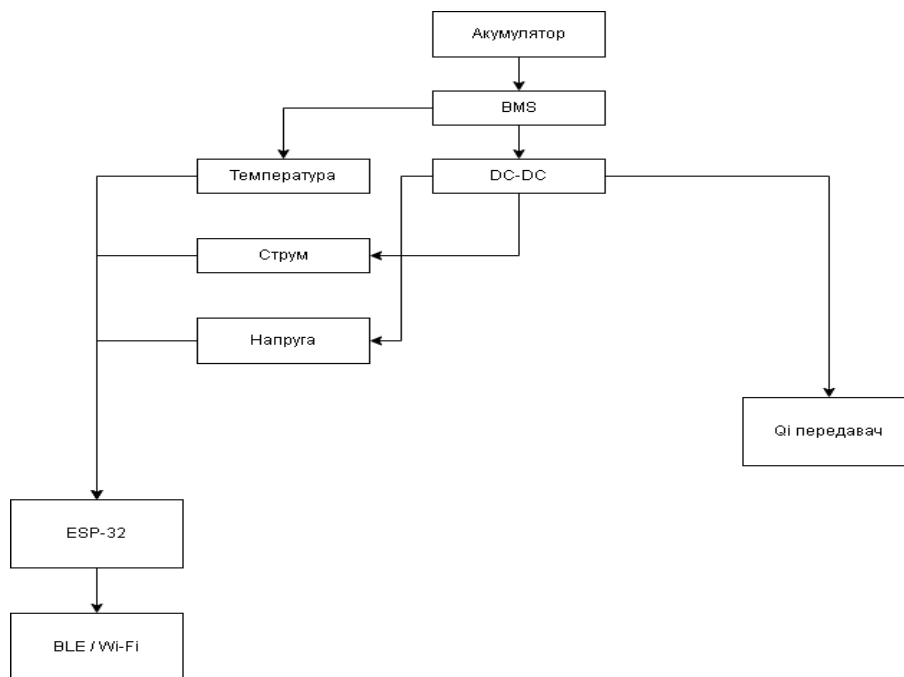


Рисунок 2.2 — Спрощена схема потоків енергії та даних

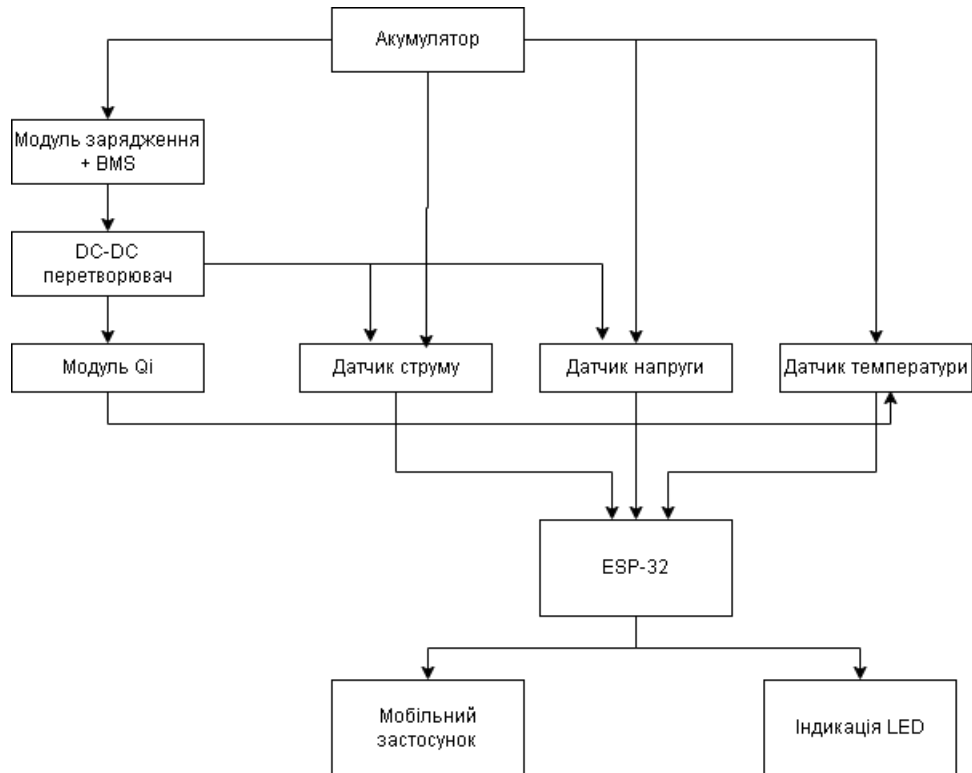


Рисунок 2.3 — Блок-схема взаємодії енергетичної, вимірювальної та інформаційної підсистем

2.4 Вибір типу акумуляторів та енергетичних модулів

Енергетичний вузол розроблюваного пристрою є визначальним для забезпечення тривалості автономної роботи та експлуатаційної надійності. Під час проєктування було проведено аналіз ринку хімічних джерел енергії з метою пошуку оптимального балансу між питомою щільністю заряду та безпекою користувача.

Порівняльний аналіз типів накопичувачів

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для реалізації портативного джерела живлення було розглянуто три ключові технології:

Нікель-металгідридні (NiMH) системи: хоча вони є безпечними, їх низька енергоємність та велика вага роблять пристрій громіздким.



Рисунок 2.4 — Нікель-металгідридні (NiMH)

Літій-полімерні (Li-Pol) рішення: приваблює своєю геометрією, проте мають обмежений ресурс циклів і схильні до механічних деформацій (здуття) при інтенсивному розряді.



Рисунок 2.5 — Літій-полімерні (Li-Pol)

Літій-іонні (Li-Ion) елементи формату 18650: демонструють найкращі показники стабільності. Наявність сталевого захисного циліндра нівелює ризику механічного пошкодження внутрішніх шарів електроду.



Рисунок 2.6 — Літій-іонні (Li-Ion)

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи специфіку кваліфікаційного проекту, а саме необхідність тривалого моніторингу параметрів, було обрано елементи Li-Ion 18650. Це дозволяє побудувати надійну систему з передбачуваною кривою розряду, що критично важливо для точного виведення даних у мобільний застосунок.

Архітектура батарейного масиву

Конструкція джерела енергії базується на паралельному з'єднанні (схема 1SXP). Такий підхід було обрано з наступних міркувань:

Спрощення схеми BMS: відсутність послідовних ланок дозволяє уникнути складних вузлів балансування напруги.

Підвищення надійності: вихід з ладу одного елемента призведе лише до втрати частки ємності, а не до повної зупинки пристрою.

Ефективність заряду: стандартні контролери заряду від USB найкраще адаптовані саме під напругу 3,7–4,2 В.

Функціональний склад енергомодулів

Для інтелектуального керування потоками потужності до складу системи включено:

- Контролер енергоспоживання: забезпечує режим заряджання CC/CV, мінімізуючи теплові втрати.
- Блок апаратного захисту (BMS): виконує моніторинг критичних станів (КЗ, перерозряд) незалежно від програмного коду мікроконтролера.
- Силовий Step-Up конвертер: трансформує напругу батареї у стабільні 5 В для бездротового передавача. Вибір зупинено на імпульсному перетворювачі з частотою понад 1200 кГц для зменшення електромагнітних завад на Bluetooth-модуль ESP32.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Підсистема бездротової передачі: базується на індукційній котушці стандарту Qi, що узгоджується з вихідною потужністю акумуляторного блоку.

2.5 Формування алгоритмів функціонування, режимів заряду/розряду та системи захисту

Функціонування бездротового павербанка забезпечується керуючим мікроконтролером, який координує роботу енергетичних вузлів, виконує вимірювання робочих параметрів та організовує обмін даними з мобільним застосунком. Логіка роботи пристрою передбачає автоматичне перемикання між режимами заряджання, віддачі енергії та очікування з одночасним контролем безпечних умов експлуатації.

Алгоритм заряджання акумуляторної батареї

Заряд акумулятора здійснюється через модуль керування зарядом із функціями балансування та захисту. Процес відбувається за типовою двофазною характеристикою.

На першому етапі забезпечується заряд постійним струмом до досягнення граничного значення напруги. На другому етапі підтримується стабілізована напруга, а зарядний струм поступово зменшується до мінімального рівня.

У процесі заряджання контролюються:

- напруга батареї;
- величина зарядного струму;
- температурний режим.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завершення або примусове припинення заряджання відбувається при перевищенні допустимих меж параметрів або при досягненні повного заряду.

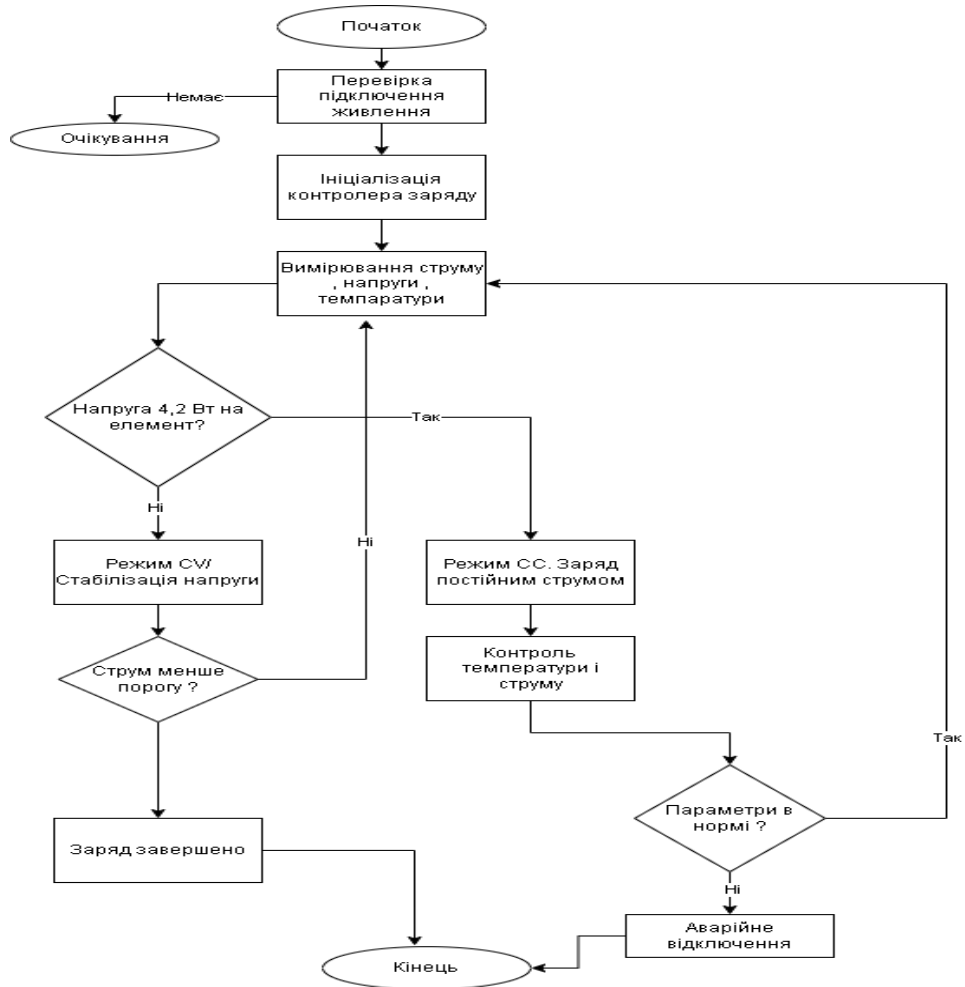


Рисунок 2.7 — Алгоритм заряджання акумуляторної батареї
Алгоритм віддачі енергії навантаженню

У режимі розряду енергія акумулятора подається на перетворювач напруги, після чого передається до модуля індуктивної передачі енергії. Керуючий контролер виконує безперервне спостереження за електричними та тепловими параметрами системи.

Послідовність роботи:

- Оцінка стану акумулятора.

- Активація перетворювача живлення. Увімкнення бездротового передавача.
- Моніторинг струму, напруги та температури.
- Передача інформації користувачу.

При виникненні небезпечних умов подача енергії автоматично припиняється.

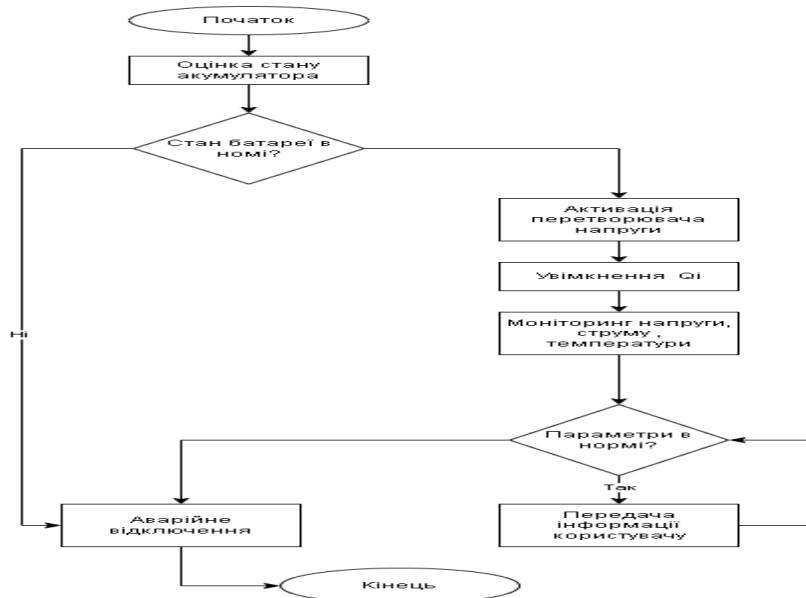


Рисунок 2.8 — Алгоритм віддачі енергії навантаженню

Алгоритм вимірювання та передачі параметрів

Контролер працює у періодичному циклі збору даних. Вимірювальна підсистема забезпечує контроль основних експлуатаційних параметрів пристрою.

Виконуються такі операції:

- зчитування значень струму, напруги та температури;
 - обробка і фільтрація результатів вимірювань;
- розрахунок потужності та рівня заряду;

Функціонування системи можна подати як послідовність дій:

- Ініціалізація апаратних модулів.
- Визначення поточного режиму роботи.
- Керування процесами заряду або розряду.
- Безперервний контроль параметрів.
- Реалізація захисних механізмів.
- Передача інформації користувачу.
- Перехід у режим очікування за відсутності навантаження.

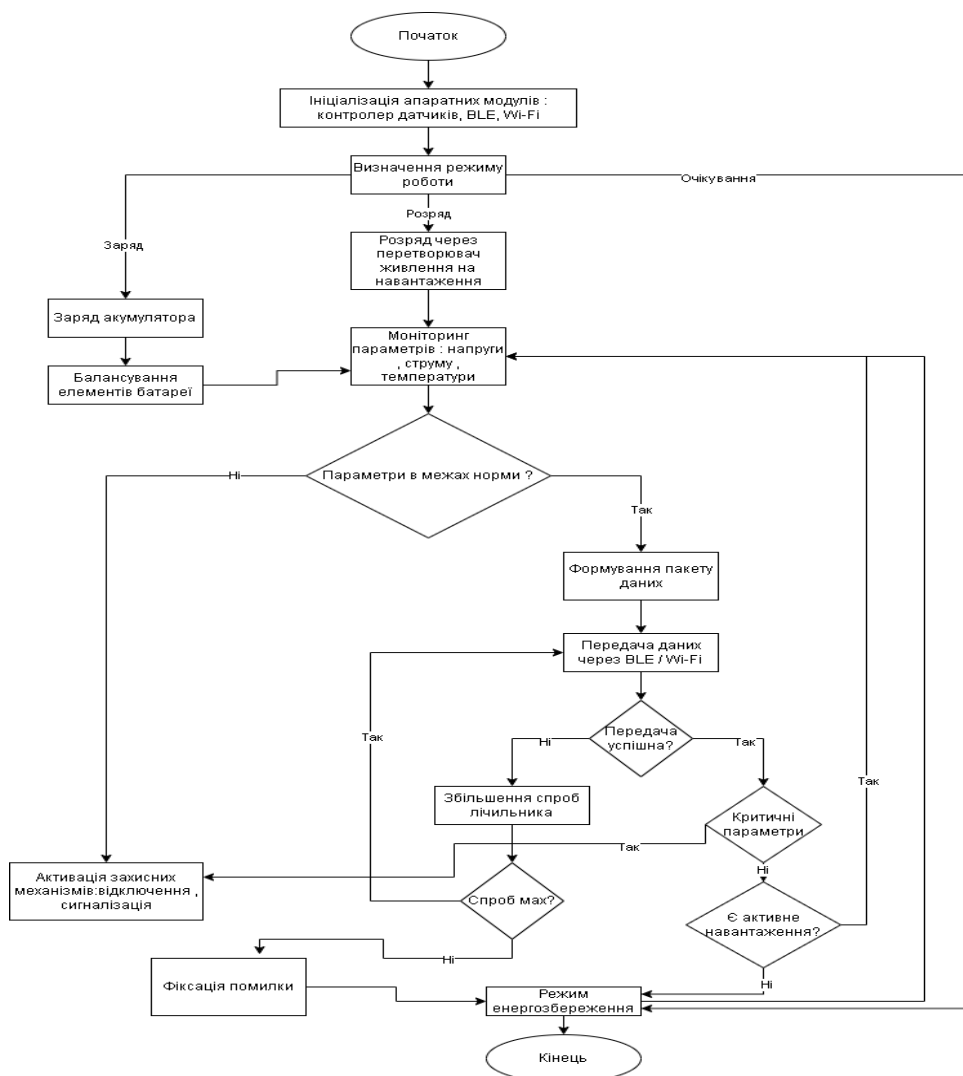


Рисунок 2.11 — Узагальнений алгоритм роботи пристрою

РОЗДІЛ 3. ІНЖЕНЕРНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ РОЗРАХУНКИ

3.1 Розрахунок основних параметрів енергетичної підсистеми

Енергетична ефективність розроблюваного павербанка безпосередньо залежить від характеристик накопичувальних елементів та режимів їх експлуатації. Для забезпечення балансу між масогабаритними показниками та автономністю було обрано 4 літій-іонні комірки стандарту 18650.

Розрахунок загальної ємності та енергозапасу

При паралельному з'єднанні (1S4P) чотирьох акумуляторів із номінальною ємністю $C_{cell} = 3400$ мА·год, сумарна ємність блока становить:

$$C_{total} = n \cdot C_{cell} \quad (3.1)$$

де n — кількість акумуляторних елементів у блоці, шт.;

C_{cell} — номінальна ємність одного елемента, мА·год.

$$C_{total} = 4 \cdot 3400 = 13600 \text{ мА} \cdot \text{год} (13,6 \text{ А} \cdot \text{год})$$

Загальний запас енергії акумуляторного масиву (W_{bat}) при номінальній напрузі $U_{nom} = 3.7\text{В}$ обчислюється як:

$$W_{bat} = C_{total} \cdot U_{nom} \quad (3.2)$$

де C_{total} — загальна ємність акумуляторного блоку, А·год;

U_{nom} — номінальна напруга одного літій-іонного елемента (типове значення становить 3,7В).

$$W_{bat} = 13,6 \text{ А} \cdot \text{год} \cdot 3,7 \text{ В} = 50,32 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

Такий енергозапас дозволяє забезпечити повний цикл заряджання сучасного смартфона (з батареєю ~5000 мА·год) до 2–2.5 разів з урахуванням втрат на перетворення.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ		
Змн.	Арк.А	№ докум.№	ПідписПі	Дата			
Розроб.		Закордонець В.		7.06.24	Лім.Лім	Арк.Арк.	АкрушівАкру
Перевір.		Мішан В.В.		10.06.24		38	
Реценз.					ФІТ, ХНУФІТ, ХНУ		
Н. Контр.		Стецюк В.І		12.06			
Затверд.		Підченко С.К.		12.06			

Обґрунтування струмових режимів заряду

Для літій-іонних систем рекомендований струм заряду становить $0.5C$.
Теоретично допустиме значення струму заряду (I_{ch_max}):

$$I_{ch_max} = 0,5 \cdot C_{total} \quad (3.3)$$

де $0,5$ — рекомендований коефіцієнт швидкості заряду ($0,5C$) для збереження ресурсу акумуляторів;

C_{total} — загальна ємність акумуляторного блоку, А·год.

$$I_{ch_max} = 0,5 \cdot 13,6 = 6,8A$$

Отримане значення струму $6,8A$ є теоретичною верхньою межею для обраного хімічного джерела струму при швидкості заряду $0,5C$. Проте фінальний вибір робочого струму визначається критерієм системного обмеження, оскільки павербанк проектується під живлення від стандартних інтерфейсів USB.

Оскільки поширені комерційні адаптери живлення стандарту USB забезпечують стабільний вихідний струм $2,1 - 3,0A$ (при напрузі $5V$), впровадження струму $6,8A$ вимагало б значного ускладнення схемотехніки та збільшення габаритів пристрою. Тому у проєкті прийнято обмеження фактичного струму заряду на рівні $I_{ch} = 2,1 - 3,0A$.

Такий підхід є математично обґрунтованим, оскільки виконується умова $I_{ch} < I_{ch_max}$, що одночасно мінімізує термічну деградацію літій-іонних комірок і забезпечує сумісність із типовим обладнанням.

Розрахунок параметрів розряду та ККД системи

Вихідна потужність бездротового інтерфейсу Qi становить $P_{out} = 5$ Вт. Враховуючи ККД індуктивного тракту ($\eta_{qi} \approx 0.75$) та імпульсного Boost-перетворювача ($\eta_{boost} \approx 0.9$), сумарна потужність, що споживається від акумуляторів (P_{in}):

$$P_{in} = P_{out} / (\eta_{qi} \cdot \eta_{boost}) \approx 5,0 / (0,75 \cdot 0,9) \approx 7,41 \text{ Вт} \quad (3.4)$$

де P_{out} — вихідна потужність на приймальній котушці (потужність зарядки смартфона), Вт;

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

η_{Qi} — коефіцієнт корисної дії системи бездротової передачі енергії стандарту Qi;

η_{boost} — коефіцієнт корисної дії підвищуючого DC-DC перетворювача.

Максимальний струм розряду блока при мінімально допустимій напрузі ($U_{min} = 3.0 \text{ В}$):

$$I_{dis_max} = P_{in} / U_{min} \quad (3.5)$$

де P_{in} — повна вхідна потужність, яку споживає пристрій, Вт;

U_{min} — мінімально допустима напруга на акумуляторному блоці, при якій система залишається працездатною (напруга відсічення), В.

$$I_{dis_max} = 7,41/3,0 \approx 2,47 \text{ А}$$

При цьому навантаження на кожен окрему комірку складе $I_{cell} \approx 0.62 \text{ А}$, що є щадним режимом роботи.

Оцінка часу автономної роботи

Орієнтовний час безперервної роботи пристрою (t) у режимі максимальної віддачі потужності:

$$t = (W_{bat} \cdot k) / P_{in} \quad (3.6)$$

де W_{bat} — повна енергоємність акумуляторного блоку, Вт·год;

k — коефіцієнт глибини розряду (зазвичай приймається 0,8–0,9 для запобігання деградації літій-іонних елементів);

P_{in} — повна вхідна потужність, що споживається системою від акумуляторів, Вт.

$$t = (50,32 \cdot 0,9) / 7,41 = 45,29 / 7,41 \approx 6,1 \text{ год}$$

(де $k=0,9$ — коефіцієнт запасу енергії, що не вилучається для запобігання глибокому розряду).

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 — Основні параметри акумуляторного блока (1S4P)

№	Параметр	Позначення	Значення	Одиниці
1	Кількість акумуляторів	n	4	—
2	Ємність одного елемента	C_{cell}	3400	мА·год
3	Загальна ємність блока	C_{total}	13600 (13,6)	мА·год (А·год)
4	Номінальна напруга	U_{nom}	3,7	В
5	Запас енергії	W_{bat}	50,32	Вт·год
6	Рекомендований струм заряду (0.5C)	I_{ch_max}	6,8	А
7	Прийнятий струм заряду	I_{ch}	2,1–3,0	А
8	Вихідна потужність Q_i	P_{out}	5,0	Вт
9	ККД Q_i -передачі	η_{qi}	0,75	—
10	ККД Boost-перетворювача	η_{boost}	0,9	—
11	Вхідна потужність	P_{in}	7,41	Вт
12	Мінімальна напруга	U_{min}	3,0	В
13	Максимальний струм розряду	I_{dis_max}	2,47	А
14	Струм на одну комірку	I_{cell}	0,62	А
15	Коефіцієнт використання енергії	k	0,9	—
16	Час автономної роботи	t	≈ 6,1	год

3.2 Розрахунок ефективності індуктивної передачі енергії та втрат.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Енергетична ефективність безконтактної передачі електричної енергії є визначальним фактором при проектуванні портативних джерел живлення з індуктивним зв'язком. Значення коефіцієнта корисної дії залежить від конструктивних параметрів котушок, режиму роботи резонансних контурів, електромагнітного узгодження та просторового розташування передавального і приймального модулів.

Оцінка коефіцієнта корисної дії

Коефіцієнт ефективності системи визначається як відношення корисної потужності на навантаженні до загальної потужності, що споживається від акумуляторного блока:

$$\eta = P_{\text{вих}} / P_{\text{вх}} \quad (3.7)$$

де: $P_{\text{вих}}$ — потужність, яка передається споживачу;

$P_{\text{вх}}$ — потужність, що надходить до передавального вузла.

З урахуванням параметрів розроблюваного пристрою:

$$P_{\text{вих}} = 5 \text{ Вт}$$

$$P_{\text{вх}} \approx 7,41 \text{ Вт}$$

Отже, ефективність системи становить:

$$\eta \approx 0,68$$

Таким чином, рівень корисного використання енергії знаходиться в межах **65–70%**, що узгоджується з типовими характеристиками бездротових зарядних пристроїв стандарту Qi.

Джерела енергетичних втрат.

Втрати потужності у системі індуктивної передачі мають комплексний характер і формуються під впливом декількох факторів.

Провідникові втрати.

Зумовлені активним опором обмоток котушок. При проходженні струму відбувається виділення тепла, пропорційне квадрату струму. Особливо помітними ці втрати стають при підвищених навантаженнях.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Магнітні втрати.

Виникають у феритових елементах через явища гістерезису та вихрових струмів. Їх величина зростає зі збільшенням частоти роботи системи.

Втрати через неідеальне зчеплення котушок.

Передача енергії залежить від коефіцієнта магнітного зв'язку, який визначається взаємним розташуванням котушок. При відхиленні від оптимального положення або збільшенні зазору між ними ефективність суттєво знижується.

Втрати у силових перетворювачах.

На приймальній стороні відбувається випрямлення змінної напруги та її подальша стабілізація. Ці процеси супроводжуються додатковими енергетичними втратами у діодах та DC-DC перетворювачах.

Сумарна оцінка втрат потужності

Загальні втрати енергії в системі визначаються як різниця між вхідною та вихідною потужністю:

$$P_{\text{вт}} = P_{\text{вх}} - P_{\text{вих}} \tag{3.8}$$

$$P_{\text{вт}} \approx 7,41 - 5 = 2,41 \text{ Вт}$$

Отримане значення свідчить, що частина енергії перетворюється у теплову, що потребує врахування при тепловому проектуванні пристрою.

Вплив геометричних параметрів на ефективність

Ефективність індуктивного каналу значною мірою визначається відстанню між котушками та їх взаємним позиціонуванням. При мінімальному зазорі забезпечується максимальна передача енергії. Зі збільшенням відстані або при зміщенні осей котушок коефіцієнт зв'язку зменшується, що призводить до зниження ККД.

Практично доцільно забезпечувати відстань між передавальним і приймальним елементами в межах кількох міліметрів, що відповідає вимогам стандарту Qi. [3, 13]

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шляхи підвищення енергоефективності.

Для покращення характеристик системи індуктивної передачі енергії можуть бути застосовані такі технічні рішення:

- використання феритових екранів для концентрації магнітного поля;
- оптимізація геометрії та діаметра котушок;
- застосування багатожильних провідників для зменшення втрат;
- точне налаштування резонансних контурів;
- мінімізація повітряного зазору між елементами системи;
- вибір оптимальної робочої частоти.

У результаті проведених розрахунків і аналізу встановлено, що ефективність індуктивної передачі енергії у розроблюваному пристрої відповідає сучасним технічним вимогам і становить близько 70%. Основні втрати пов'язані з електричними та магнітними процесами у передавальному каналі, а також з роботою силових перетворювачів.

Оптимізація конструкції та режимів роботи дозволяє підвищити енергоефективність, зменшити тепловиділення та покращити експлуатаційні характеристики пристрою.

3.3 Теплові розрахунки та методи контролю температури акумулятора та плати.

Тепловий режим роботи електронного пристрою є одним із ключових факторів, що визначають його надійність, довговічність та безпечність експлуатації. Особливо це актуально для портативних систем живлення, у яких використовується акумуляторна батарея та силові електронні компоненти.

Джерела тепловиділення у пристрої

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У процесі функціонування бездротового павербанка тепло генерується внаслідок електричних втрат у різних елементах системи. Основними джерелами нагрівання є:

- **акумуляторні елементи**, в яких тепло виділяється через внутрішній опір під час заряджання та розряджання;
- **силові транзистори та мікросхеми перетворювачів**, що працюють у імпульсному режимі;
- **індуктивні котушки**, де виникають втрати на активному опорі провідників;
- **випрямлячі та стабілізатори напруги**, що спричиняють додаткове розсіювання потужності.

Таким чином, теплове навантаження формується як сукупність втрат у всіх функціональних вузлах системи.

Розрахунок теплових втрат

Теплова потужність, яка виділяється у пристрої, визначається на основі різниці між споживаною та корисною потужністю:

$$P_{\text{тепл}} = P_{\text{вх}} - P_{\text{вих}} \quad (3.9)$$

З урахуванням попередніх розрахунків:

$$P_{\text{тепл}} \approx 7,41 - 5 = 2,41 \text{ Вт}$$

Отримане значення характеризує кількість енергії, що переходить у теплову форму під час роботи пристрою.

Оцінка підвищення температури

Зміна температури елементів пристрою може бути оцінена за спрощеною тепловою моделлю:

$$\Delta T = P_{\text{тепл}} \cdot R_{\text{тепл}} \quad (3.10)$$

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де: $R_{\text{тепл}}$ — еквівалентний тепловий опір системи. Для компактних електронних пристроїв типовим є значення:

$$R_{\text{тепл}} \approx 8-12^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$$

Тоді підвищення температури становитиме:

$$\Delta T \approx 2,41 \cdot 10 \approx 24^{\circ}\text{C}$$

Це означає, що при температурі навколишнього середовища 25°C температура плати може досягати приблизно:

$$T \approx 49^{\circ}\text{C}$$

Отриманий результат знаходиться у допустимих межах, однак потребує врахування при проектуванні системи охолодження.

Особливості теплового режиму акумулятора

Акумуляторні елементи є найбільш чутливими до температурного впливу. Підвищення температури може призводити до:

- зниження ємності;
- прискореного старіння;
- підвищення внутрішнього опору;
- ризику перегріву або аварійних ситуацій.

Оптимальний температурний діапазон роботи літій-іонних акумуляторів становить $0...45^{\circ}\text{C}$. [6, 17] . Перевищення цих значень негативно впливає на їх експлуатаційні характеристики.

Методи контролю та стабілізації температури

Для забезпечення надійної роботи пристрою необхідно застосовувати комплекс заходів теплового менеджменту.

Пасивні методи охолодження:

- використання теплопровідних матеріалів;
- оптимальне розміщення компонентів на платі;
- збільшення площі мідних полігонів;
- застосування теплових відводів (радіаторів).

Активні методи:

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- використання мікроventильаторів (за необхідності); керування режимами роботи перетворювачів;
- зниження навантаження при перегріві.

Методи контролю температури:

- використання термодатчиків (NTC, цифрові сенсори);
- реалізація програмного моніторингу температури;
- автоматичне відключення або обмеження струму при досягненні критичних значень.

Рекомендації щодо теплового проєктування

Для підвищення ефективності теплового режиму доцільно:

- розміщувати акумулятор окремо від джерел інтенсивного нагріву;
- забезпечити достатню вентиляцію корпусу;
- застосовувати багат шарові друковані плати з тепловими шарами;
- мінімізувати втрати в силових елементах шляхом оптимізації режимів роботи;
- передбачити температурний захист на рівні електроніки та програмного забезпечення.

Проведений тепловий аналіз показав, що при потужності втрат близько 2,41 Вт підвищення температури елементів пристрою становить приблизно 20–25 °С. Це відповідає допустимим умовам експлуатації, однак потребує реалізації заходів теплового контролю.

Застосування ефективних методів охолодження та моніторингу температури дозволяє забезпечити стабільну роботу акумулятора та електронних компонентів, підвищити надійність пристрою та продовжити термін його служби.

3.4 Розробка схем захисту від короткого замикання, перенапруги та перегріву.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Забезпечення функціональної надійності портативного джерела живлення з індуктивною передачею енергії потребує впровадження ієрархічної системи захисту. Оскільки літій-іонні акумулятори (Li-ion) є термодинамічно нестабільними при виході за межі «області безпечної роботи» (Safe Operating Area — SOA), у проєкті реалізовано поєднання автономних апаратних засобів та інтелектуальних програмних алгоритмів моніторингу.

Апаратна та програмна реалізація захисту від короткого замикання (SCP)

Коротке замикання (КЗ) у силових ланцюгах павербанка призводить до експоненціального зростання густини струму, що за мілісекунди може спричинити деградацію внутрішнього сепаратора акумулятора.

- Первинний рівень (Hardware): Використання спеціалізованої мікросхеми контролера захисту (наприклад, серії DW01 або аналогів у складі BMS-модуля). Вона керує здвоєним N-канальним MOSFET-ключем, увімкненим у розрив негативної шини живлення. При фіксації падіння напруги на внутрішньому опорі транзисторів, що перевищує порогове (зазвичай 150–200мВ), драйвер миттєво (< 50 мкс) закриває ключі. [11, 20]

- Вторинний рівень (Software): Мікроконтролер ESP32 через датчик Холла (ACS712) або низькоомний шунт здійснює безперервну дискретизацію струму. При виявленні струму, що перевищує 120% від номінального ($I_{\max} = 3$ А), програма ініціює переведення вихідного DC-DC перетворювача в стан «Shutdown» до моменту усунення причини аварії.

Захист від перенапруги (OVP) та глибокого розряду (UVP)

Стабільність напруги є критичною для запобігання хімічному розкладу електроліту (при перезаряді) або незворотній втраті ємності (при перерозряді).

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Overvoltage Protection (OVP): У процесі заряду від зовнішнього джерела (USB) контролер BMS відстежує потенціал на кожній паралельній групі комірок. При досягненні $4,25 \pm 0,05$ В коло розривається. Додатково, програмний алгоритм ESP32 дублює цей процес, вимикаючи вхідний ключ при 4,20 В, що забезпечує «м'яке» завершення заряду та подовжує ресурс батареї.

- Undervoltage Protection (UVP): Для недопущення падіння напруги нижче критичних 2,8–3,0 В, система моніторингу аналізує стан заряду (State of Charge — SoC). При досягненні нижнього порогу мікроконтролер надсилає push-повідомлення в додаток і примусово відключає індуктивний передавач, залишаючи мінімальну енергію лише для живлення власного ядра в режимі Deep Sleep.

Система динамічного теплового менеджменту (OTR)

Враховуючи низький ККД бездротової передачі (65–70%), значна частина енергії (2,41 Вт) виділяється у вигляді тепла безпосередньо під індукційною котушкою та на силових ключах.

- Терморезистивний контроль: Використовується термістор з негативним температурним коефіцієнтом (NTC), закріплений теплопровідним клеєм безпосередньо на корпусі центрального акумулятора.

- Адаптивне обмеження потужності: На відміну від поширених рішень, де при перегріві здійснюється примусове відключення живлення, запропонована система використовує алгоритм поетапного зниження вихідної потужності відповідно до показників температурного контролю, що підвищує надійність та ефективність роботи пристрою.. При перевищенні 45°C мікроконтролер через ШІМ-сигнал (PWM) знижує яскравість індикації та обмежує струм у котушці Q_i , намагаючись стабілізувати температуру без повного припинення роботи.

- Аварійне відсікання: При досягненні критичної позначки 60°C (температура початку термічної деградації Li-ion) [12, 17] система виконує повну деактивацію всіх силових вузлів.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

– Електромагнітна сумісність та захист від завад Оскільки пристрій містить високочастотний інвертор (1200 кГц) та радіомодуль Bluetooth (2,4 ГГц), розроблено схему фільтрації:

– Вхідні фільтри: LC-ланцюги для придушення зворотних завад у лінію живлення.

– Екранування: Використання феритових пластин не лише для спрямування магнітного потоку Qi, а й для захисту антени ESP32 від наведень магнітного поля передавальної котушки.

Спроектована система захисту перетворює павербанк із пасивного джерела енергії на інтелектуальний пристрій, здатний самостійно діагностувати та запобігати аварійним ситуаціям, що значно підвищує рівень безпеки користувача.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 4. ПРОЄКТУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ І КОМУНІКАЦІЙНОЇ ПІДСИСТЕМИ

4.1 Вибір і розташування датчиків струму, напруги та температури.

Робота вимірювального тракту спрямована на безперервний контроль базових електричних та теплових параметрів акумуляторного масиву безпроводного павербанка. Зібрані інформаційні дані надходять до центрального обчислювального мікроконтролера, де використовуються для математичної оцінки енергетичного балансу, динамічного коригування режимів роботи силових ключів та активації захисних функцій.

Моніторинг струмових навантажень. Фіксація величини струму в ланцюгах заряджання та розряджання реалізована за допомогою прецизійного датчика струму, що функціонує на основі фізичного ефекту Холла. Такий метод вимірювання дозволяє знімати гальванічно ізольований аналоговий сигнал, який чітко пропорційний силі струму, що протікає через силову шину, без внесення суттєвого додаткового опору в коло.

Вибір датчика з номінальним діапазоном вимірювання до 5 А (модель ACS712-05A) повністю перекриває робочі та можливі пікові струмові навантаження під час функціонування DC-DC перетворювачів та індуктивного Qi-передавача, що відображено у специфікації компонентів. Аналоговий вихідний сигнал з датчика Холла подається безпосередньо на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП) мікроконтролера.

Сенсор монтується послідовно в розрив силової лінії між акумуляторним блоком та імпульсним підвищуючим конвертером. Це розташування гарантує точну реєстрацію як зарядного струму, так і струму розряду під час підключення зовнішніх споживачів. Задля мінімізації паразитних наведень та теплових втрат, провідники силового контуру на

КПТР.022072.01.03 ПЗ														
Змн.	Арк.А	№ докум.№	ПідписПі	Дата	Безпроводний павербанк з контролем через додаток Пояснювальна записка									
Розроб.		Закордонець В.		20.06.2024										
Перевір.		Мішан В.В.		20.06.2024										
Реценз.														
Н. Контр.		Стецюк В.І		12.06.2024										
Затверд.		Підченко С.К.		12.06.2024										
					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="font-size: small;">Лім.Лім</td> <td style="font-size: small;">Арк.Арк.</td> <td style="font-size: small;">АкрушієАкру</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">51</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center; padding: 5px;">ФІТ, ХНУФІТ, ХНУ</td> </tr> </table>	Лім.Лім	Арк.Арк.	АкрушієАкру		51		ФІТ, ХНУФІТ, ХНУ		
Лім.Лім	Арк.Арк.	АкрушієАкру												
	51													
ФІТ, ХНУФІТ, ХНУ														

друкованої платі виконуються з максимальною шириною та мінімальною довжиною.

Моніторинг потенціалу напруги. Контроль рівня напруги на літій-іонному масиві здійснюється за допомогою класичної схеми резистивного подільника напруги R6, R7, який масштабує вихідний потенціал батареї до безпечних значень, що сприймаються вхідним каскадом АЦП мікроконтролера.

Оскільки вимірювальний тракт адаптований під максимальну напругу акумуляторного блока на рівні 4,2 В, подільник формує вихідний сигнал у межах від 0 до 3,3 В, що ідеально відповідає робочому динамічному діапазону опорної напруги мікроконтролера. Отримані цифрові значення напруги є базою для:

- математичного обчислення поточного рівня заряду батареї (алгоритм SoC);
- запобігання виникненню режимів небезпечного перезаряду комірок;
- своєчасного відсікання навантаження при глибокому розряді;
- аналізу загального коефіцієнта корисної дії енергетичних процесів.

Точки зняття напруги підключаються безпосередньо до клем акумуляторної збірки, що нівелює вплив падіння напруги на силових доріжках плати і відображає реальний стан джерела.

Моніторинг теплових градієнтів. Тепловий менеджмент є критично важливою умовою безпечного функціонування Li-ion систем, особливо за умов одночасної високочастотної індуктивної передачі потужності та інтенсивного струмового розряду.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Для знімання температурних показників обрано напівпровідникові терморезистори з негативним температурним коефіцієнтом (NTC) номінальним опором 10 кОм. Вони забезпечують високу чутливість, швидкий термічний відгук та лінійну стабільність характеристики у робочому діапазоні температур.

Контроль температурних полів організовано у трьох найбільш навантажених зонах:

- безпосередньо на корпусі центрального хімічного елемента акумуляторного масиву;
- у геометричному центрі передавальної індукційної котушки Qi-модуля;
- у зоні монтажу силових транзисторів підвищуючого DC-DC конвертера MT3608.

Всі терморезистори фіксуються за допомогою високотеплопровідного діелектричного клею для забезпечення мінімального теплового опору контакту. Траси сигнальних провідників від датчиків до МК прокладаються на значній відстані від силових ліній та екрануються заземленими полігонами для усунення перехресних електромагнітних завад.

Зв'язок з обчислювальним ядром. Усі аналогові інформаційні сигнали з вищезазначених сенсорів транслюються на відповідні порти вбудованого 12-бітного АЦП мікроконтролера ESP32, де піддаються апаратному оцифруванню та подальшій математичній обробці за допомогою програмних фільтрів.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

4.2 Розробка схеми збору та обробки даних мікроконтролером.

Система збору та обробки даних виконує функцію центрального керування вимірювальною підсистемою портативного джерела живлення. Вона забезпечує приймання аналогових сигналів від сенсорів, їх перетворення у цифрову форму, програмну обробку та формування керуючих дій відповідно до поточного режиму роботи пристрою.

Загальна структура системи збору даних

Інформація про електричні та теплові параметри надходить до мікроконтролера у вигляді аналогових сигналів. Основними джерелами даних є:

- датчик струму силового кола;
- вимірювальний подільник напруги акумуляторного блока;
- температурні датчики, розташовані у критичних теплових зонах.

Усі сигнали подаються на входи аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера. Оцифровані значення зберігаються у внутрішній пам'яті та використовуються для подальшого аналізу.

Процес оцифрування сигналів

Аналогові входи працюють у режимі періодичного опитування. Для підвищення точності вимірювань застосовується багатократне зчитування сигналу з подальшим усередненням результатів. Такий підхід дозволяє зменшити вплив електромагнітних завад та випадкових коливань напруги.

Обробка сигналів включає:

- масштабування значень відповідно до коефіцієнтів перетворення датчиків;
- перерахунок виміряних напруг у фізичні величини;
- цифрову фільтрацію результатів; перевірку коректності вимірювань.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Алгоритм обробки вимірювальної інформації

Програмна частина системи реалізує послідовний цикл обробки даних, що складається з кількох етапів:

- Ініціалізація периферійних модулів і каналів вимірювання.
- Зчитування сигналів із датчиків.
- Усереднення та фільтрація результатів.
- Обчислення струму, напруги та температури.
- Порівняння параметрів із допустимими межами.
- Формування керуючих сигналів або попереджень.
- Передача даних у комунікаційний модуль.

Такий алгоритм забезпечує безперервний контроль стану енергетичної підсистеми та оперативну реакцію на відхилення параметрів.

Реалізація функцій захисту

На основі отриманих даних мікроконтролер виконує контроль безпечності роботи пристрою. У разі перевищення граничних значень параметрів система формує відповідні дії:

- обмеження струму навантаження;
- відключення зарядного режиму;
- блокування бездротової передачі енергії;
- індикація аварійного стану.

Порогові значення визначаються характеристиками акумуляторних елементів та допустимими тепловими режимами електронних компонентів.

Передача та використання оброблених даних

Результати вимірювань використовуються для:

- оцінки рівня заряду акумулятора;
- контролю ефективності енергетичних процесів;
- відображення параметрів у користувацькому інтерфейсі;
- передачі інформації через безпроводний канал зв'язку;

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

- ведення журналу робочих параметрів.
- Безперервний збір і аналіз даних дозволяє підвищити надійність пристрою та оптимізувати режими його функціонування.

4.3 Організація бездротового каналу передачі даних (Bluetooth).

Безпроводний канал зв'язку призначений для передавання інформації про стан енергетичної підсистеми портативного джерела живлення на мобільний пристрій користувача. Комунікація забезпечує віддалений моніторинг параметрів, індикацію режимів роботи та своєчасне повідомлення про аварійні стани.

Вибір технології бездротового зв'язку

Для реалізації передачі даних використано технологію Bluetooth Low Energy (BLE), інтегровану в мікроконтролер. Її застосування обумовлене такими перевагами:

- низьке енергоспоживання під час передачі даних;
- достатня швидкість обміну для телеметричної інформації;
- підтримка мобільними операційними системами; [15, 18]
- можливість роботи у режимі періодичної передачі параметрів;
- простота інтеграції з програмним забезпеченням контролера.

BLE дозволяє реалізувати стабільний канал зв'язку без істотного впливу на енергетичний баланс пристрою.

Структура інформаційного обміну

Передавання даних організовано за принципом періодичного оновлення телеметрії. Мікроконтролер формує пакет параметрів, який містить:

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

- значення струму заряду або розряду;напругу акумуляторного блока;
- температурні показники контрольних зон;
- стан режиму роботи пристрою;
- повідомлення про помилки або перевищення порогів.

Інформація передається у вигляді структурованих даних, що дозволяє мобільному додатку виконувати їх подальшу інтерпретацію та відображення.

Режими роботи каналу зв'язку

Комунікаційна підсистема функціонує у кількох режимах:

Режим очікування

Мікроконтролер періодично передає ідентифікаційні дані пристрою, дозволяючи мобільному клієнту виконати підключення.

Режим активного з'єднання

Після встановлення зв'язку здійснюється регулярна передача вимірювальних параметрів з заданим інтервалом часу.

Режим енергозбереження

У разі відсутності активного з'єднання частота передачі зменшується для зниження споживання енергії.

Програмна обробка даних перед передачею

Перед формуванням пакета даних виконується попередня обробка вимірювань:

- нормалізація значень фізичних величин;
- перевірка достовірності вимірювань;
- формування статусних ознак;
- кодування інформації для передачі.

Такий підхід забезпечує стабільність зв'язку та зменшує обсяг передаваних даних.

Надійність та безпечність передачі

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для підвищення надійності комунікації застосовуються механізми контролю з'єднання та повторної передачі у разі втрати пакета. Додатково передбачено:

- перевірку коректності прийнятих даних;
- автоматичне відновлення з'єднання;
- обмеження доступу до сервісних характеристик.

Це забезпечує стійку роботу бездротового каналу в умовах можливих електромагнітних завад від силових вузлів пристрою.

Функціональне значення комунікаційної підсистеми

Інтеграція бездротового каналу зв'язку розширює функціональні можливості портативного джерела живлення, дозволяючи реалізувати:

- дистанційний контроль стану акумулятора;
- інформування користувача про режими роботи;
- підвищення рівня експлуатаційної безпеки;
- можливість подальшого розширення програмних функцій.

Таким чином, безпроводний інтерфейс є важливим елементом інформаційної підсистеми пристрою та забезпечує зручну взаємодію з користувачем.

Текст програми керування мікроконтролером наведений у додатку А.

4.4 Створення інтерфейсу мобільного застосунку для відображення телеметрії.

Для зручного контролю параметрів роботи розробленого пристрою було створено інтерфейс мобільного застосунку, який дозволяє в режимі реального часу отримувати та відображати телеметричну інформацію. Використання мобільного застосунку дає можливість користувачу контролювати стан системи без необхідності безпосереднього підключення до обладнання.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Передача даних між пристроєм і смартфоном здійснюється за допомогою бездротового з'єднання. Для цього використовується мікроконтролер, що підтримує модулі Bluetooth Low Energy або Wi-Fi. Отримані з датчиків дані обробляються мікроконтролером та передаються до мобільного застосунку у вигляді телеметричних повідомлень.

Основні можливості застосунку

Розроблений інтерфейс забезпечує відображення основних параметрів роботи системи. До них належать:

- значення напруги акумуляторної батареї;
- величина струму навантаження;
- температура акумуляторного модуля;
- рівень заряду батареї;
- стан бездротової зарядки;
- індикація підключення до пристрою.

Завдяки цьому користувач може оперативнo оцінювати технічний стан пристрою під час його експлуатації.

Структура інтерфейсу застосунку

Інтерфейс програми складається з декількох основних екранів, кожен з яких виконує окрему функцію.

Екран підключення

На першому екрані відображається список доступних пристроїв. Користувач може обрати потрібний пристрій та встановити з ним з'єднання. Також відображається статус підключення, що дозволяє контролювати стабільність зв'язку.

Основний екран моніторингу

Головний екран призначений для відображення телеметричних параметрів. Дані можуть бути представлені у вигляді цифрових показників, індикаторних шкал або графічних елементів. На цьому екрані користувач бачить основну інформацію про роботу пристрою, зокрема значення напруги, струму та температури.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Інформаційна панель стану

Додатково у застосунку передбачена панель індикації режимів роботи. Вона сигналізує про активність бездротової зарядки, можливі перевантаження або перегрів системи. У разі виникнення аварійної ситуації користувач отримує відповідне повідомлення.

Передача та обробка телеметрії

Телеметрична інформація формується на основі даних, отриманих від датчиків струму, температури та напруги. Після вимірювання параметри обробляються мікроконтролером і передаються до мобільного застосунку у вигляді структурованих повідомлень.

Приклад формату переданих даних може виглядати таким чином:

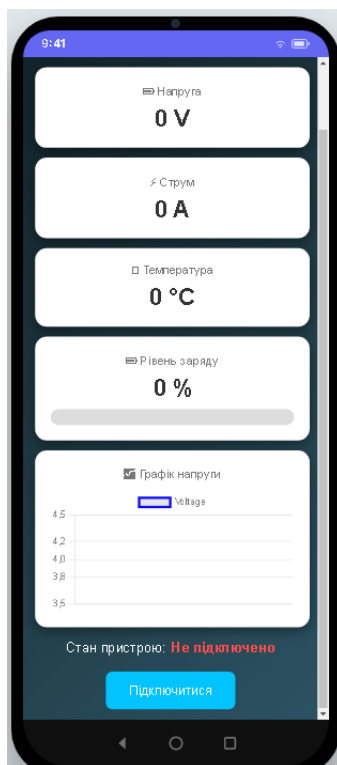


Рисунок 4.1 — Додаток на базі Android

де V — напруга батареї; I — значення струму навантаження; T — температура; B — рівень заряду акумулятора. Переваги використання мобільного інтерфейсу

Застосування мобільного застосунку значно розширює можливості системи. Користувач отримує доступ до інформації про роботу пристрою у

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

будь-який момент часу. Це дозволяє своєчасно реагувати на можливі відхилення параметрів та підвищує загальну надійність експлуатації системи.

Отже, розроблений інтерфейс мобільного застосунку забезпечує ефективний спосіб відображення телеметричних даних і підвищує зручність використання пристрою.

Вихідний код інтерфейсу мобільного застосунку наведений у додатку Б.

4.5.Алгоритм обміну даними між підсистемами та користувачем.

Алгоритм обміну даними визначає порядок передавання інформації між вимірювальною, обчислювальною та комунікаційною підсистемами портативного джерела живлення, а також взаємодію пристрою з мобільним застосунком користувача. Основною метою є забезпечення безперервного моніторингу параметрів роботи, оперативного інформування про стан системи та реалізації захисних функцій.

Загальна структура інформаційного обміну

Обмін даними реалізовано за циклічним принципом і включає такі етапи:

- Зчитування сигналів із датчиків.
- Оцифрування та первинна обробка вимірювань.
- Аналіз параметрів і формування статусу системи.
- Підготовка пакета телеметричних даних.
- Передача інформації бездротовим каналом.
- Відображення параметрів у мобільному застосунку.
- Реакція системи на команди користувача.

Такий підхід забезпечує синхронізовану роботу всіх функціональних модулів пристрою.

Формування телеметричних даних

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Після зчитування аналогових сигналів мікроконтролер виконує їх перетворення у фізичні величини. На основі оброблених значень формується інформаційний пакет, що містить:

- значення напруги акумуляторного блока;
- струм заряду або розряду;
- температурні показники контрольних зон;
- рівень заряду акумулятора;
- поточний режим роботи;
- службові статусні ознаки.

Перед передачею дані проходять перевірку достовірності та нормалізацію формату.

Передача інформації користувачу

Передавання телеметрії здійснюється періодично з фіксованим інтервалом часу. Комунікаційна підсистема забезпечує:

- встановлення з'єднання з мобільним пристроєм;
- передачу сформованого пакета даних;
- контроль цілісності інформації;
- автоматичне повторення передачі у разі помилки.

Мобільний застосунок приймає дані, виконує їх декодування та відображає параметри у графічному інтерфейсі.

Обробка команд користувача

Алгоритм передбачає можливість передавання керуючих дій від користувача до пристрою. До таких дій належать:

- запит поточного стану системи;
- оновлення режиму індикації;
- керування передаванням телеметрії;

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

– ініціалізація діагностичного режиму. Отримані команди перевіряються на коректність і після цього передаються у відповідні функціональні модулі.

Реакція на аварійні стани

У разі виявлення небезпечних режимів роботи алгоритм обміну даними змінює пріоритет передавання інформації. Система негайно формує повідомлення про аварію та передає його користувачу. Одночасно активуються внутрішні захисні механізми пристрою.

До аварійних подій належать:

- перевищення допустимої температури;
- перевантаження за струмом;
- перевищення або зниження напруги;
- порушення нормального режиму роботи.

Послідовність роботи алгоритму

Функціонування системи можна описати такою узагальненою послідовністю:

- Ініціалізація підсистем пристрою.
- Збір вимірювальних даних.
- Програмна обробка параметрів.
- Оцінка стану системи.
- Формування пакета телеметрії.
- Передача інформації користувачу.
- Прийом і виконання команд.
- Повторення циклу.

Циклічний характер роботи забезпечує актуальність інформації та стабільність функціонування пристрою.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

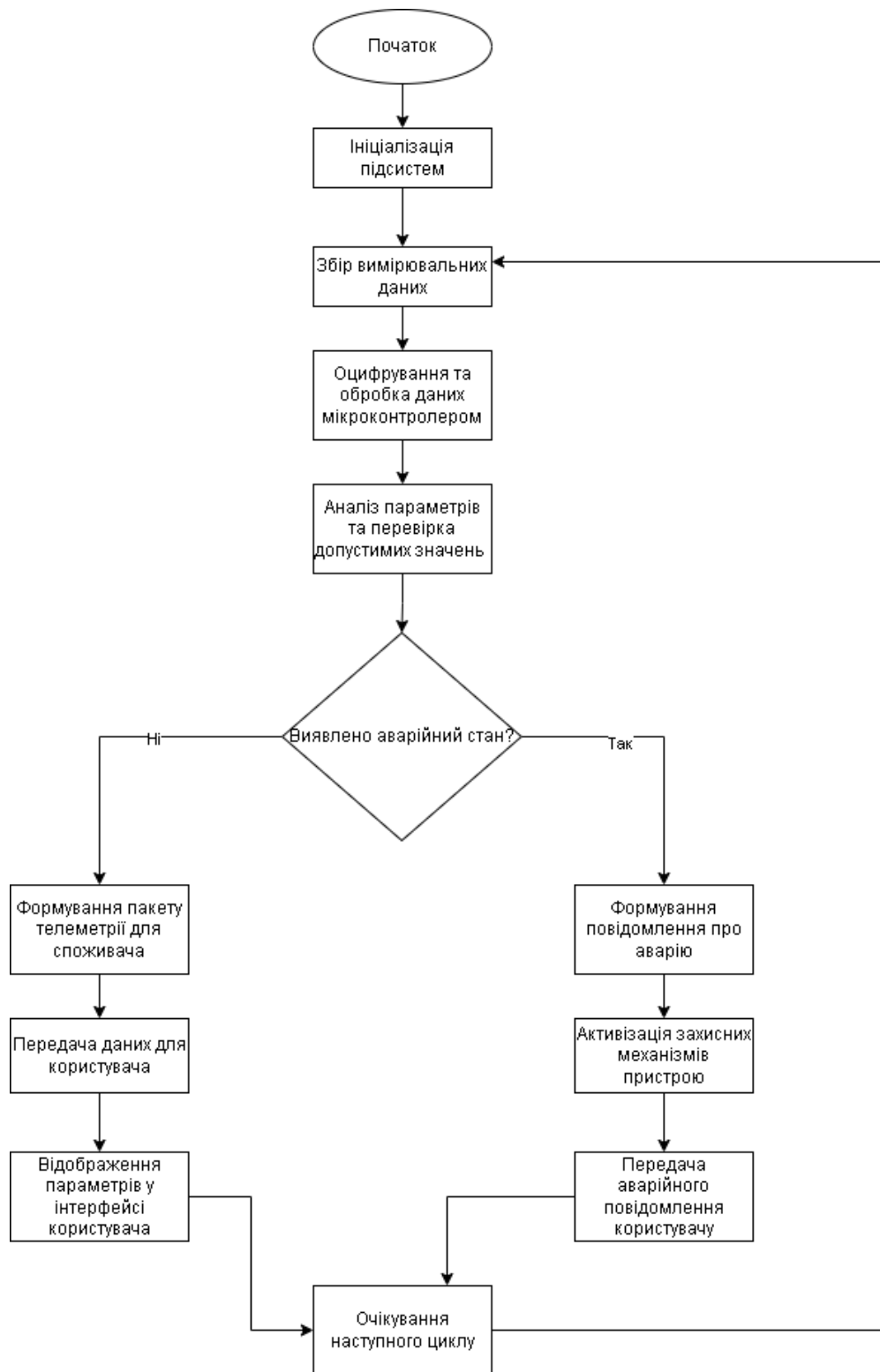


Рисунок 4.2 — Алгоритм обміну даними між підсистемами та користувачем.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

РОЗДІЛ 5. КОНСТРУКТОРСЬКА ДОКУМЕНТАЦІЯ

5.1 Принципова електрична схема розробленого пристрою.

Розроблена принципова електрична схема відображає повний склад елементів пристрою та логіку їх електричного з'єднання. Побудова схеми виконана з урахуванням поділу на функціональні вузли, що спрощує аналіз роботи системи та подальшу реалізацію пристрою.

Енергетичний вузол формує основу системи та включає акумуляторний блок, модуль керування процесом заряду, схему захисту від аварійних режимів і перетворювач напруги. Така конфігурація дозволяє забезпечити стабільні параметри живлення незалежно від режиму роботи навантаження.

Формування бездротового каналу передачі енергії реалізовано із застосуванням індуктивного модуля, який забезпечує передачу потужності без використання контактних з'єднань. Це рішення зменшує зношування роз'ємів та підвищує зручність експлуатації пристрою.

Контроль робочих параметрів здійснюється за допомогою вимірювальних елементів, що фіксують значення струму, напруги та температури. Отримані дані надходять до мікроконтролера, де виконуються їх обробка та підготовка до передачі.

Керування роботою всіх вузлів покладено на мікроконтролер ESP32, який забезпечує координацію режимів функціонування та організацію бездротового обміну даними з користувацьким пристроєм.

Принципова електрична схема представлена на кресленні ЕЗ.

5.2 Блок-схема взаємодії енергетичної, вимірювальної та інформаційної підсистем.

Для наочного відображення структури пристрою розроблено блок-схему, яка демонструє взаємозв'язок між основними функціональними

					КПТР.022072.01.03 ПЗ		
Змн.	Арк.А	№ докум.№	ПідписПІ	Дата	Лім.Лім	Арк.Арк.	АкрушієАкру
Розроб.		Закордонець В.		7.06.24			
Перевір.		Мішан В.В.		9.06.24		65	5
Реценз.							
Н. Контр.		Стецюк В.І		12.06			
Затверд.		Підченко С.К.					
					Безпроводний павербанк з контролем через додаток Пояснювальна записка		
					ФІТ, ХНУФІТ, ХНУ		

5.3 Перелік елементів із технічними характеристиками.

Перелік елементів містить систематизований набір усіх компонентів, використаних у розробленій схемі. Для кожної позиції зазначено умовне позначення, тип елемента, основні характеристики та кількість.

Позначення компонентів у переліку повністю узгоджені зі схемою, що забезпечує однозначну ідентифікацію елементів під час складання та налагодження пристрою. Такий підхід дозволяє уникнути помилок при монтажі та спрощує технічне обслуговування.

Формування переліку виконано з урахуванням можливості практичного застосування, зокрема доступності елементної бази та сумісності компонентів між собою.

Перелік елементів оформлено як окремий документ відповідно до вимог конструкторської документації.

Розроблений комплект конструкторської документації забезпечує повноцінне відтворення пристрою та може бути використаний як основа для його виготовлення, тестування та подальшого вдосконалення.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У кваліфікаційному проєкті на тему «Безпроводний павербанк з контролем через додаток» було розроблено та обґрунтовано технічне рішення портативного джерела живлення, що поєднує сучасні методи індуктивної передачі енергії з інтелектуальним моніторингом параметрів у реальному часі.

За результатами виконання проєкту було досягнуто наступних результатів:

– Аналітична частина: Проведено ґрунтовний аналіз існуючих комерційних моделей павербанків. Виявлено, що основними недоліками типових рішень є обмежена інформативність інтерфейсу та відсутність дистанційного контролю теплового режиму, що підтвердило доцільність розробки пристрою з розширеною телеметрією.

– Апаратне забезпечення: Спроектовано енергетичну підсистему на базі літій-іонних комірок 18650 (1S4P) із загальною ємністю 13,6 А·год. Використання мікроконтролера ESP32 дозволило реалізувати стабільний канал зв'язку Bluetooth Low Energy (BLE) для передачі даних без суттєвого впливу на енергоспоживання системи.

Розраховано основні параметри енергоефективності. Встановлено, що ККД системи становить близько 70%, а загальний запас енергії у 50,32 Вт·год дозволяє забезпечити декілька циклів заряджання мобільних пристроїв. Теплові розрахунки підтвердили безпечність конструкції: при потужності втрат 2,41 Вт нагрів компонентів залишається в межах допустимих норм.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Програмна та комунікаційна реалізація: Розроблено багаторівневу систему захисту (OVP, UVP, SCP, OTP), що поєднує апаратні модулі BMS та програмні алгоритми контролера. Створено адаптивний інтерфейс мобільного застосунку, який візуалізує напругу, струм, температуру та рівень заряду у зручній для користувача формі.

– Практична цінність: Створений пристрій підвищує рівень безпеки експлуатації автономних джерел живлення завдяки постійному моніторингу стану акумуляторів. Результати роботи можуть бути використані як база для серійного виробництва інтелектуальних систем живлення.

Мета проекту досягнута, поставлені завдання виконані в повному обсязі. Пристрій відповідає вимогам галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації» та спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел :

1. Бартенев В. Г. Сучасні акумулятори: теорія та практика. – 2022.
2. Гуржій А. М. Електротехніка та мікропроцесорна техніка в системах живлення. – 2021.
3. Wireless Power Consortium. Qi Wireless Power Transfer System. Interface Description. – 2023.
4. Espressif Systems. ESP32 Series Datasheet. Bluetooth & Wi-Fi capabilities. – 2024.
5. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги до електронних виробів.
6. ДСТУ ІЕС 62133-2:2017. Акумулятори та батареї вторинні герметичні переносні. Вимоги безпеки до літій-іонних батарей. — Київ: Національний орган стандартизації України.
7. Кузьмін О. В., Савчук П. І. Джерела живлення електронних пристроїв. — Київ: Міністерство освіти і науки України, 2020.
8. Кравченко В. С. Джерела живлення електронних пристроїв : навч. посіб. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.
9. Бойко В. І. Електронні системи та пристрої : підручник. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019.
10. Стахів П. Г. Основи електроніки. – Львів : Новий Світ-2000, 2017.
11. ДСТУ ІЕС 62368-1:2019. Обладнання аудіо-, відео-, інформаційних та комунікаційних технологій. Вимоги безпеки.
12. Козирський В. В. Акумулятори та батареї : навч. посіб. – Київ : НАУ, 2020.
13. Чернецький В. І. Перетворювачі електричної енергії. – Харків : ХНУРЕ, 2016.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Мельник О. П. Вимірювання електричних величин : навч. посіб. – Київ : НТУУ «КПІ», 2015.
15. Петренко О. О. Мікроконтролери та вбудовані системи. – Київ : Ліра-К, 2021.
16. Гудков О. С. Проєктування телекомунікаційних пристроїв на базі мікроконтролерів. – Київ: Наукова думка, 2021.
17. Texas Instruments. Battery Management Systems: Design Considerations for Li-ion Batteries. – Technical Report, 2023.
18. Bluetooth SIG. Bluetooth Core Specification v5.4. Vol. 6: Low Energy Controller. – 2023.
19. Кириленко О. В. Енергоефективність інтелектуальних мереж живлення. – Харків: Гімназія, 2022.
20. IEEE Standard 1725-2021. IEEE Standard for Rechargeable Batteries for Mobile Phones. – IEEE, 2021.

					КПТР.022072.01.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Текст програми мікроконтролера ESP32

```

#include <BLEDevice.h>
#include <BLEServer.h>
#include <BLEUtils.h>
#include <BLE2902.h>
#include <Preferences.h>
#include <math.h>
#include "esp_task_wdt.h"
#include "esp_adc_cal.h"

// ===== HARDWARE =====
namespace BmsHardwareConfig {
    constexpr int VOLTAGE_SENSE_PIN = 34;
    constexpr int CURRENT_SENSE_PIN = 35;
    constexpr int THERMAL_SENSE_PIN = 32;
    constexpr int MAIN_RELAY_PIN = 12;

    constexpr float VOLTAGE_DIVIDER_RATIO = 7.66;
    constexpr float SENSOR_SENSITIVITY = 0.185;
    constexpr float ZERO_CURRENT_LIMIT = 0.02;
    constexpr float INVERT_CURRENT_AXIS = -1.0;
    constexpr bool NTC_IN_UPPER_ARM = true;
}

// ===== BATTERY =====
namespace BatterySpecification {
    constexpr float CAPACITY_AH = 4.0;
    constexpr float VMAX = 4.20;
    constexpr float VMIN = 3.00;

    constexpr float CRIT_OV = 4.25;
    constexpr float CRIT_UV = 2.90;
    constexpr float CRIT_TEMP = 55.0;
    constexpr float REC_TEMP = 47.0;
}

// ===== STATE =====
enum class BmsState : uint8_t {
    OK = 0,
    WARN = 1,
    FAULT = 2
};

// ===== TELEMETRY =====
struct __attribute__((packed)) Telemetry {
    float v;
    float i;
    float soc;
    float soh;
    float t;
    uint8_t state;
};

```

```

    uint8_t limit;
    uint16_t cycles;
};

// ===== CORE =====
class BmsCore : public BLEServerCallbacks {
private:
    esp_adc_cal_characteristics_t adc;
    Preferences nv;

    BLECharacteristic* ch = nullptr;
    bool connected = false;

    float v_est = 3.7;
    float i_est = 0.0;
    float t_est = 25.0;

    float i_zero_mv = 1650.0;

    float ah = 4.0;
    float soc = 100.0;
    float soh = 100.0;
    uint16_t cycles = 0;

    BmsState state = BmsState::OK;

    uint32_t last = 0;
    uint32_t rest = 0;

    // filters
    const float aV = 0.15;
    const float aI = 0.20;
    const float aT = 0.10;

    // BLE callbacks
    void onConnect(BLEServer*) override { connected =
true; }
    void onDisconnect(BLEServer* s) override {
        connected = false;
        s->getAdvertising()->start();
    }

    // ADC
    float readV(int pin) {
        int sum = 0;
        for (int i = 0; i < 6; i++) {
            sum +=
esp_adc_cal_raw_to_voltage(analogRead(pin), &adc);
            delayMicroseconds(10);
        }
        return (sum / 6.0) / 1000.0;
    }
}

```

```

float ocvSoc(float v) {
    if (v <= 3.0) return 0;
    if (v >= 4.2) return 100;
    float x = (v - 3.0) / 1.2;
    return 100.0 / (1.0 + exp(-10.0 * (x - 0.5)));
}

float ntc() {
    float v =
readV(BmsHardwareConfig::THERMAL_SENSE_PIN);
    if (v < 0.05 || v > 3.2) return 25;

    float r = 10000.0 * v / (3.3 - v);
    float k = 1.0 / (1.0 / 298.15 + log(r /
10000.0) / 3950.0);
    return k - 273.15;
}

public:
    void begin() {
        pinMode(BmsHardwareConfig::MAIN_RELAY_PIN,
OUTPUT);

digitalWrite(BmsHardwareConfig::MAIN_RELAY_PIN, HIGH);

        esp_adc_cal_characterize(ADC_UNIT_1,
ADC_ATTEN_DB_11, ADC_WIDTH_BIT_12, 1100, &adc);

        nv.begin("bms", false);

        soh = nv.getFloat("soh", 100);
        cycles = nv.getUShort("cy", 0);

        float v0 =
readV(BmsHardwareConfig::VOLTAGE_SENSE_PIN) *
BmsHardwareConfig::VOLTAGE_DIVIDER_RATIO;
        ah = BatterySpecification::CAPACITY_AH *
ocvSoc(v0) / 100.0;

        BLEDevice::init("BMS_CORE_V2");
        BLEServer* s = BLEDevice::createServer();
        s->setCallbacks(this);

        BLEService* svc = s->createService("1234");
        ch = svc->createCharacteristic("5678",
BLECharacteristic::PROPERTY_NOTIFY);
        ch->addDescriptor(new BLE2902());

        svc->start();
        s->getAdvertising()->start();

        last = millis();
    }
}

```

```

void update() {
    uint32_t now = millis();
    if (now - last < 1000) return;

    float dt = (now - last) / 3600000.0;
    last = now;

    // voltage
    float v =
readV(BmsHardwareConfig::VOLTAGE_SENSE_PIN) *
BmsHardwareConfig::VOLTAGE_DIVIDER_RATIO;

    // current
    float mv =
esp_adc_cal_raw_to_voltage(analogRead(BmsHardwareConfig::CURRENT_SENSE_PIN), &adc);
    float vcur = mv / 1000.0;

    float i = ((vcur - i_zero_mv / 1000.0) /
BmsHardwareConfig::SENSOR_SENSITIVITY) *
BmsHardwareConfig::INVERT_CURRENT_AXIS;

    // filters
    v_est = v_est * (1 - aV) + v * aV;
    i_est = i_est * (1 - aI) + i * aI;
    t_est = t_est * (1 - aT) + ntc() * aT;

    // zero drift (safe)
    if (fabs(i) <
BmsHardwareConfig::ZERO_CURRENT_LIMIT) {
        rest++;
        if (rest > 30) {
            i_zero_mv = i_zero_mv * 0.999 + mv *
0.001;
        }
    } else rest = 0;

    // coulomb counting (RAW)
    ah += i * dt;
    ah = constrain(ah, 0.0,
BatterySpecification::CAPACITY_AH);

    // OCV correction (soft)
    float target =
BatterySpecification::CAPACITY_AH *
ocvSoc(v_est) / 100.0;

    if (rest > 300) {
        ah = ah * 0.97 + target * 0.03;
    }
}

```

```

    }

    float soc_c = (ah /
BatterySpecification::CAPACITY_AH) * 100.0;
    float soc_v = ocvSoc(v_est);

    soc = soc_c * 0.7 + soc_v * 0.3;

    // SOH simple stable model
    soh -= fabs(i) * dt * 0.0015;
    soh = constrain(soh, 50, 100);

    // cycles
    static float cyc = 0;
    if (i < 0) {
        cyc += fabs(i) * dt;
        if (cyc >
BatterySpecification::CAPACITY_AH) {
            cycles++;
            cyc = 0;
        }
    }

    // safety
    if (v_est > BatterySpecification::CRIT_OV ||
        v_est < BatterySpecification::CRIT_UV ||
        t_est > BatterySpecification::CRIT_TEMP) {
        state = BmsState::FAULT;
    } else {
        state = BmsState::OK;
    }
}

digitalWrite(BmsHardwareConfig::MAIN_RELAY_PIN,
             state == BmsState::FAULT ? LOW :
HIGH);

// BLE
if (connected) {
    Telemetry p {
        v_est, i_est, soc, soh, t_est,
        (uint8_t)state,
        100,
        cycles
    };

    ch->setValue((uint8_t*)&p, sizeof(p));
    ch->notify();
}

// save
if (now % 60000 < 1000) {
    nv.putFloat("soh", soh);
}

```

```
        nv.putUShort("cy", cycles);
    }
}
};

BmsCore bms;

void setup() {
    analogSetPinAttenuation(34, ADC_11db);
    analogSetPinAttenuation(35, ADC_11db);
    analogSetPinAttenuation(32, ADC_11db);

    bms.begin();
    esp_task_wdt_init(10, true);
    esp_task_wdt_add(NULL);
}

void loop() {
    esp_task_wdt_reset();
    bms.update();
}
```

Текст програми мобільного за стосунку

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="uk">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  <title>PowerBank Telemetry</title>

  <script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/chart.js"></script>

  <style>
    body {
      margin: 0;
      font-family: Arial, sans-serif;
      background: linear-gradient(135deg, #0f2027, #203a43, #2c5364);
      color: white;
      text-align: center;
      min-height: 100vh;
      padding-bottom: 30px;
    }
    header {
      padding: 20px;
      font-size: 26px;
      font-weight: bold;
    }
    .container {
      padding: 15px;
      display: flex;
      flex-direction: column;
      align-items: center;
    }
    .card {
      background: rgba(255, 255, 255, 0.95);
      color: #333;
      margin: 12px auto;
      padding: 20px;
      width: 90%;
      max-width: 380px;
      border-radius: 15px;
      box-shadow: 0 5px 15px rgba(0,0,0,0.4);
      box-sizing: border-box;
    }
    .title {
      font-size: 15px;
      color: #777;
      text-transform: uppercase;
      letter-spacing: 0.5px;
    }
    .value {
      font-size: 30px;
      font-weight: bold;
      margin-top: 8px;
    }
    .battery-bar {
      width: 100%;
      height: 20px;
      background: #ddd;
      border-radius: 10px;
      margin-top: 12px;
    }
```

```

        overflow: hidden;
    }
    .battery-level {
        height: 100%;
        width: 0%;
        background: limegreen;
        transition: width 0.5s ease-in-out;
    }
    .status {
        margin-top: 15px;
        font-size: 18px;
    }
    .connected {
        color: #00ff9c;
        font-weight: bold;
    }
    .disconnected {
        color: #ff4b4b;
        font-weight: bold;
    }
    button {
        margin-top: 20px;
        padding: 14px 30px;
        font-size: 16px;
        font-weight: bold;
        border: none;
        border-radius: 8px;
        background: #00c3ff;
        color: white;
        cursor: pointer;
        transition: background 0.2s;
    }
    button:hover {
        background: #0099cc;
    }
    button:disabled {
        background: #555;
        cursor: not-allowed;
    }
</style>
</head>
<body>

<header>
    ⚡ PowerBank Telemetry
</header>

<div class="container">

    <div class="card">
        <div class="title">🔋 Hanpyra</div>
        <div class="value" id="voltage">0.00 V</div>
    </div>

    <div class="card">
        <div class="title">⚡ Cтpым</div>
        <div class="value" id="current">0.00 A</div>
    </div>

    <div class="card">
        <div class="title">🌡️ Температура</div>
        <div class="value" id="temperature">0.0 °C</div>
    </div>

```

```

<div class="card">
  <div class="title">□ Рівень заряду</div>
  <div class="value" id="battery">0 %</div>
  <div class="battery-bar">
    <div class="battery-level" id="batteryBar"></div>
  </div>
</div>

<div class="card" style="background: rgba(20, 30, 40, 0.8); color: white;">
  <div class="title" style="color: #aaa;">□ Графік напруги (V)</div>
  <canvas id="voltageChart"></canvas>
</div>

<div class="status">
  Стан пристрою: <span id="status" class="disconnected">Не
підключено</span>
</div>

  <button id="connectBtn" onclick="connectDevice()">Підключитися</button>
</div>

<script>
let connected = false;
let telemetryInterval = null;
let simulatedBattery = 100; // Початковий реалістичний відсоток для демо

// Ініціалізація графіка з темною темою
const ctx = document.getElementById('voltageChart').getContext('2d');
const chart = new Chart(ctx, {
  type: 'line',
  data: {
    labels: [],
    datasets: [{
      label: 'Напруга',
      data: [],
      borderColor: '#00c3ff',
      backgroundColor: 'rgba(0, 195, 255, 0.1)',
      fill: true,
      tension: 0.3,
      borderWidth: 2
    }]
  },
  options: {
    responsive: true,
    plugins: {
      legend: { display: false } // ховаємо зайву легенду
    },
    scales: {
      x: {
        grid: { color: 'rgba(255,255,255,0.1)' },
        ticks: { color: '#aaa' }
      },
      y: {
        min: 3.5,
        max: 4.5,
        grid: { color: 'rgba(255,255,255,0.1)' },
        ticks: { color: '#aaa' }
      }
    }
  }
});

function connectDevice() {

```

```

if (connected) return; // Захист від повторного кліку

connected = true;

// Оновлюємо статус інтерфейсу
const statusEl = document.getElementById("status");
statusEl.innerHTML = "Підключено";
statusEl.className = "connected";

const btn = document.getElementById("connectBtn");
btn.disabled = true;
btn.innerHTML = "Пристрій активний";

startTelemetry();
}

function startTelemetry() {
  // Перевіряємо, чи інтервал ще не запущений
  if (telemetryInterval) return;

  telemetryInterval = setInterval(function() {
    if (!connected) return;

    // Генерація реалістичніших демонстраційних значень
    let voltage = (3.7 + Math.random() * 0.4).toFixed(2);
    let current = (0.4 + Math.random() * 0.6).toFixed(2);
    let temperature = (25 + Math.random() * 5).toFixed(1);

    // Плавне зменшення заряду замість хаотичних стрибків
    if (simulatedBattery > 1) {
      simulatedBattery -= (Math.random() * 0.2);
    } else {
      simulatedBattery = 100; // скидання до 100 якщо розрядився
    }
    let batteryDisplay = Math.round(simulatedBattery);

    // Вивід текстових значень
    document.getElementById("voltage").innerHTML = voltage + " V";
    document.getElementById("current").innerHTML = current + " A";
    document.getElementById("temperature").innerHTML = temperature + " °C";
    document.getElementById("battery").innerHTML = batteryDisplay + " %";

    // Оновлення прогрес-бару батареї
    const bar = document.getElementById("batteryBar");
    bar.style.width = batteryDisplay + "%";

    // Зміна кольору батареї залежно від заряду
    if (batteryDisplay < 20) {
      bar.style.background = "red";
    } else if (batteryDisplay < 50) {
      bar.style.background = "orange";
    } else {
      bar.style.background = "limegreen";
    }

    // Оновлення графіку
    let time = new Date().toLocaleTimeString([], { hour: '2-digit', minute:
'2-digit', second: '2-digit' });
    chart.data.labels.push(time);
    chart.data.datasets[0].data.push(voltage);

    // Обмеження кількості точок на графіку до 10
    if (chart.data.labels.length > 10) {
      chart.data.labels.shift();
    }
  }, 1000);
}

```

```
        chart.data.datasets[0].data.shift();
    }

    chart.update();
}, 2000);
}
</script>

</body>
</html>
```

Текст програми мікроконтролера ESP32

```
#include <BLEDevice.h>
#include <BLEServer.h>
#include <BLEUtils.h>
#include <BLE2902.h>
#include <Preferences.h>
#include <math.h>
#include "esp_task_wdt.h"
#include "esp_adc_cal.h"

// ===== HARDWARE =====
namespace BmsHardwareConfig {
    constexpr int VOLTAGE_SENSE_PIN = 34;
    constexpr int CURRENT_SENSE_PIN = 35;
    constexpr int THERMAL_SENSE_PIN = 32;
    constexpr int MAIN_RELAY_PIN = 12;

    constexpr float VOLTAGE_DIVIDER_RATIO = 7.66;
    constexpr float SENSOR_SENSITIVITY = 0.185;
    constexpr float ZERO_CURRENT_LIMIT = 0.02;
    constexpr float INVERT_CURRENT_AXIS = -1.0;
    constexpr bool NTC_IN_UPPER_ARM = true;
}

// ===== BATTERY =====
namespace BatterySpecification {
    constexpr float CAPACITY_AH = 4.0;
    constexpr float VMAX = 4.20;
    constexpr float VMIN = 3.00;

    constexpr float CRIT_OV = 4.25;
    constexpr float CRIT_UV = 2.90;
    constexpr float CRIT_TEMP = 55.0;
    constexpr float REC_TEMP = 47.0;
}

// ===== STATE =====
enum class BmsState : uint8_t {
    OK = 0,
    WARN = 1,
    FAULT = 2
};

// ===== TELEMETRY =====
struct __attribute__((packed)) Telemetry {
    float v;
    float i;
    float soc;
    float soh;
    float t;
    uint8_t state;
};
```

```

        uint8_t limit;
        uint16_t cycles;
};

// ===== CORE =====
class BmsCore : public BLEServerCallbacks {
private:
    esp_adc_cal_characteristics_t adc;
    Preferences nv;

    BLECharacteristic* ch = nullptr;
    bool connected = false;

    float v_est = 3.7;
    float i_est = 0.0;
    float t_est = 25.0;

    float i_zero_mv = 1650.0;

    float ah = 4.0;
    float soc = 100.0;
    float soh = 100.0;
    uint16_t cycles = 0;

    BmsState state = BmsState::OK;

    uint32_t last = 0;
    uint32_t rest = 0;

    // filters
    const float aV = 0.15;
    const float aI = 0.20;
    const float aT = 0.10;

    // BLE callbacks
    void onConnect(BLEServer*) override { connected =
true; }
    void onDisconnect(BLEServer* s) override {
        connected = false;
        s->getAdvertising()->start();
    }

    // ADC
    float readV(int pin) {
        int sum = 0;
        for (int i = 0; i < 6; i++) {
            sum +=
esp_adc_cal_raw_to_voltage(analogRead(pin), &adc);
            delayMicroseconds(10);
        }
        return (sum / 6.0) / 1000.0;
    }
}

```

```

float ocvSoc(float v) {
    if (v <= 3.0) return 0;
    if (v >= 4.2) return 100;
    float x = (v - 3.0) / 1.2;
    return 100.0 / (1.0 + exp(-10.0 * (x - 0.5)));
}

float ntc() {
    float v =
readV(BmsHardwareConfig::THERMAL_SENSE_PIN);
    if (v < 0.05 || v > 3.2) return 25;

    float r = 10000.0 * v / (3.3 - v);
    float k = 1.0 / (1.0 / 298.15 + log(r /
10000.0) / 3950.0);
    return k - 273.15;
}

public:
    void begin() {
        pinMode(BmsHardwareConfig::MAIN_RELAY_PIN,
OUTPUT);

digitalWrite(BmsHardwareConfig::MAIN_RELAY_PIN, HIGH);

        esp_adc_cal_characterize(ADC_UNIT_1,
ADC_ATTEN_DB_11, ADC_WIDTH_BIT_12, 1100, &adc);

        nv.begin("bms", false);

        soh = nv.getFloat("soh", 100);
        cycles = nv.getUShort("cy", 0);

        float v0 =
readV(BmsHardwareConfig::VOLTAGE_SENSE_PIN) *
BmsHardwareConfig::VOLTAGE_DIVIDER_RATIO;
        ah = BatterySpecification::CAPACITY_AH *
ocvSoc(v0) / 100.0;

        BLEDevice::init("BMS_CORE_V2");
        BLEServer* s = BLEDevice::createServer();
        s->setCallbacks(this);

        BLEService* svc = s->createService("1234");
        ch = svc->createCharacteristic("5678",
BLECharacteristic::PROPERTY_NOTIFY);
        ch->addDescriptor(new BLE2902());

        svc->start();
        s->getAdvertising()->start();

        last = millis();
    }
}

```

```

void update() {
    uint32_t now = millis();
    if (now - last < 1000) return;

    float dt = (now - last) / 3600000.0;
    last = now;

    // voltage
    float v =
readV(BmsHardwareConfig::VOLTAGE_SENSE_PIN) *
BmsHardwareConfig::VOLTAGE_DIVIDER_RATIO;

    // current
    float mv =
esp_adc_cal_raw_to_voltage(analogRead(BmsHardwareConfig::CURRENT_SENSE_PIN), &adc);
    float vcur = mv / 1000.0;

    float i = ((vcur - i_zero_mv / 1000.0) /
BmsHardwareConfig::SENSOR_SENSITIVITY) *
BmsHardwareConfig::INVERT_CURRENT_AXIS;

    // filters
    v_est = v_est * (1 - aV) + v * aV;
    i_est = i_est * (1 - aI) + i * aI;
    t_est = t_est * (1 - aT) + ntc() * aT;

    // zero drift (safe)
    if (fabs(i) <
BmsHardwareConfig::ZERO_CURRENT_LIMIT) {
        rest++;
        if (rest > 30) {
            i_zero_mv = i_zero_mv * 0.999 + mv *
0.001;
        }
    } else rest = 0;

    // coulomb counting (RAW)
    ah += i * dt;
    ah = constrain(ah, 0.0,
BatterySpecification::CAPACITY_AH);

    // OCV correction (soft)
    float target =
BatterySpecification::CAPACITY_AH *
ocvSoc(v_est) / 100.0;

    if (rest > 300) {
        ah = ah * 0.97 + target * 0.03;
    }
}

```

```

    }

    float soc_c = (ah /
BatterySpecification::CAPACITY_AH) * 100.0;
    float soc_v = ocvSoc(v_est);

    soc = soc_c * 0.7 + soc_v * 0.3;

    // SOH simple stable model
    soh -= fabs(i) * dt * 0.0015;
    soh = constrain(soh, 50, 100);

    // cycles
    static float cyc = 0;
    if (i < 0) {
        cyc += fabs(i) * dt;
        if (cyc >
BatterySpecification::CAPACITY_AH) {
            cycles++;
            cyc = 0;
        }
    }

    // safety
    if (v_est > BatterySpecification::CRIT_OV ||
        v_est < BatterySpecification::CRIT_UV ||
        t_est > BatterySpecification::CRIT_TEMP) {
        state = BmsState::FAULT;
    } else {
        state = BmsState::OK;
    }
}

digitalWrite(BmsHardwareConfig::MAIN_RELAY_PIN,
             state == BmsState::FAULT ? LOW :
HIGH);

// BLE
if (connected) {
    Telemetry p {
        v_est, i_est, soc, soh, t_est,
        (uint8_t)state,
        100,
        cycles
    };

    ch->setValue((uint8_t*)&p, sizeof(p));
    ch->notify();
}

// save
if (now % 60000 < 1000) {
    nv.putFloat("soh", soh);
}

```

```
        nv.putUShort("cy", cycles);
    }
}
};

BmsCore bms;

void setup() {
    analogSetPinAttenuation(34, ADC_11db);
    analogSetPinAttenuation(35, ADC_11db);
    analogSetPinAttenuation(32, ADC_11db);

    bms.begin();
    esp_task_wdt_init(10, true);
    esp_task_wdt_add(NULL);
}

void loop() {
    esp_task_wdt_reset();
    bms.update();
}
```

Текст програми мобільного за стосунку

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="uk">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  <title>PowerBank Telemetry</title>

  <script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/chart.js"></script>

  <style>
    body {
      margin: 0;
      font-family: Arial, sans-serif;
      background: linear-gradient(135deg, #0f2027, #203a43, #2c5364);
      color: white;
      text-align: center;
      min-height: 100vh;
      padding-bottom: 30px;
    }
    header {
      padding: 20px;
      font-size: 26px;
      font-weight: bold;
    }
    .container {
      padding: 15px;
      display: flex;
      flex-direction: column;
      align-items: center;
    }
    .card {
      background: rgba(255, 255, 255, 0.95);
      color: #333;
      margin: 12px auto;
      padding: 20px;
      width: 90%;
      max-width: 380px;
      border-radius: 15px;
      box-shadow: 0 5px 15px rgba(0,0,0,0.4);
      box-sizing: border-box;
    }
    .title {
      font-size: 15px;
      color: #777;
      text-transform: uppercase;
      letter-spacing: 0.5px;
    }
    .value {
      font-size: 30px;
      font-weight: bold;
      margin-top: 8px;
    }
    .battery-bar {
      width: 100%;
      height: 20px;
      background: #ddd;
      border-radius: 10px;
      margin-top: 12px;
    }
  </style>
</html>
```

```

        overflow: hidden;
    }
    .battery-level {
        height: 100%;
        width: 0%;
        background: limegreen;
        transition: width 0.5s ease-in-out;
    }
    .status {
        margin-top: 15px;
        font-size: 18px;
    }
    .connected {
        color: #00ff9c;
        font-weight: bold;
    }
    .disconnected {
        color: #ff4b4b;
        font-weight: bold;
    }
    button {
        margin-top: 20px;
        padding: 14px 30px;
        font-size: 16px;
        font-weight: bold;
        border: none;
        border-radius: 8px;
        background: #00c3ff;
        color: white;
        cursor: pointer;
        transition: background 0.2s;
    }
    button:hover {
        background: #0099cc;
    }
    button:disabled {
        background: #555;
        cursor: not-allowed;
    }
</style>
</head>
<body>

<header>
    ⚡ PowerBank Telemetry
</header>

<div class="container">

    <div class="card">
        <div class="title">🔋 Hanpyra</div>
        <div class="value" id="voltage">0.00 V</div>
    </div>

    <div class="card">
        <div class="title">⚡ Cтpым</div>
        <div class="value" id="current">0.00 A</div>
    </div>

    <div class="card">
        <div class="title">🌡️ Температура</div>
        <div class="value" id="temperature">0.0 °C</div>
    </div>

```

```

<div class="card">
  <div class="title">□ Рівень заряду</div>
  <div class="value" id="battery">0 %</div>
  <div class="battery-bar">
    <div class="battery-level" id="batteryBar"></div>
  </div>
</div>

<div class="card" style="background: rgba(20, 30, 40, 0.8); color: white;">
  <div class="title" style="color: #aaa;">□ Графік напруги (V)</div>
  <canvas id="voltageChart"></canvas>
</div>

<div class="status">
  Стан пристрою: <span id="status" class="disconnected">Не
підключено</span>
</div>

<button id="connectBtn" onclick="connectDevice()">Підключитися</button>
</div>

<script>
let connected = false;
let telemetryInterval = null;
let simulatedBattery = 100; // Початковий реалістичний відсоток для демо

// Ініціалізація графіка з темною темою
const ctx = document.getElementById('voltageChart').getContext('2d');
const chart = new Chart(ctx, {
  type: 'line',
  data: {
    labels: [],
    datasets: [{
      label: 'Напруга',
      data: [],
      borderColor: '#00c3ff',
      backgroundColor: 'rgba(0, 195, 255, 0.1)',
      fill: true,
      tension: 0.3,
      borderWidth: 2
    }]
  },
  options: {
    responsive: true,
    plugins: {
      legend: { display: false } // ховаємо зайву легенду
    },
    scales: {
      x: {
        grid: { color: 'rgba(255,255,255,0.1)' },
        ticks: { color: '#aaa' }
      },
      y: {
        min: 3.5,
        max: 4.5,
        grid: { color: 'rgba(255,255,255,0.1)' },
        ticks: { color: '#aaa' }
      }
    }
  }
});

function connectDevice() {

```

```

if (connected) return; // Захист від повторного кліку

connected = true;

// Оновлюємо статус інтерфейсу
const statusEl = document.getElementById("status");
statusEl.innerHTML = "Підключено";
statusEl.className = "connected";

const btn = document.getElementById("connectBtn");
btn.disabled = true;
btn.innerHTML = "Пристрій активний";

startTelemetry();
}

function startTelemetry() {
// Перевіряємо, чи інтервал ще не запущений
if (telemetryInterval) return;

telemetryInterval = setInterval(function() {
    if (!connected) return;

    // Генерація реалістичніших демонстраційних значень
    let voltage = (3.7 + Math.random() * 0.4).toFixed(2);
    let current = (0.4 + Math.random() * 0.6).toFixed(2);
    let temperature = (25 + Math.random() * 5).toFixed(1);

    // Плавне зменшення заряду замість хаотичних стрибків
    if (simulatedBattery > 1) {
        simulatedBattery -= (Math.random() * 0.2);
    } else {
        simulatedBattery = 100; // скидання до 100 якщо розрядився
    }
    let batteryDisplay = Math.round(simulatedBattery);

    // Вивід текстових значень
    document.getElementById("voltage").innerHTML = voltage + " V";
    document.getElementById("current").innerHTML = current + " A";
    document.getElementById("temperature").innerHTML = temperature + " °C";
    document.getElementById("battery").innerHTML = batteryDisplay + " %";

    // Оновлення прогрес-бару батареї
    const bar = document.getElementById("batteryBar");
    bar.style.width = batteryDisplay + "%";

    // Зміна кольору батареї залежно від заряду
    if (batteryDisplay < 20) {
        bar.style.background = "red";
    } else if (batteryDisplay < 50) {
        bar.style.background = "orange";
    } else {
        bar.style.background = "limegreen";
    }

    // Оновлення графіку
    let time = new Date().toLocaleTimeString([], { hour: '2-digit', minute:
'2-digit', second: '2-digit' });
    chart.data.labels.push(time);
    chart.data.datasets[0].data.push(voltage);

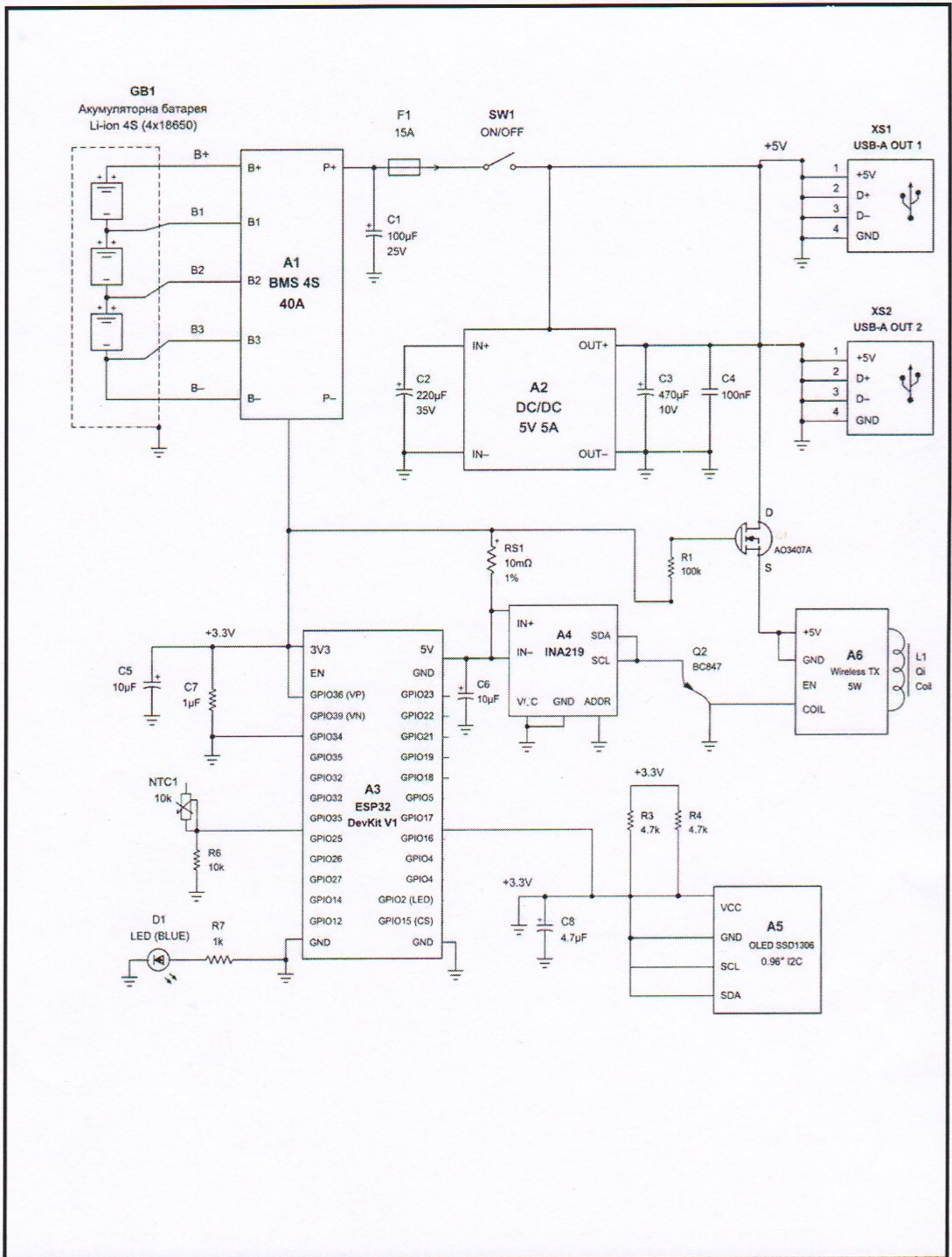
    // Обмеження кількості точок на графіку до 10
    if (chart.data.labels.length > 10) {
        chart.data.labels.shift();
    }
}
}

```

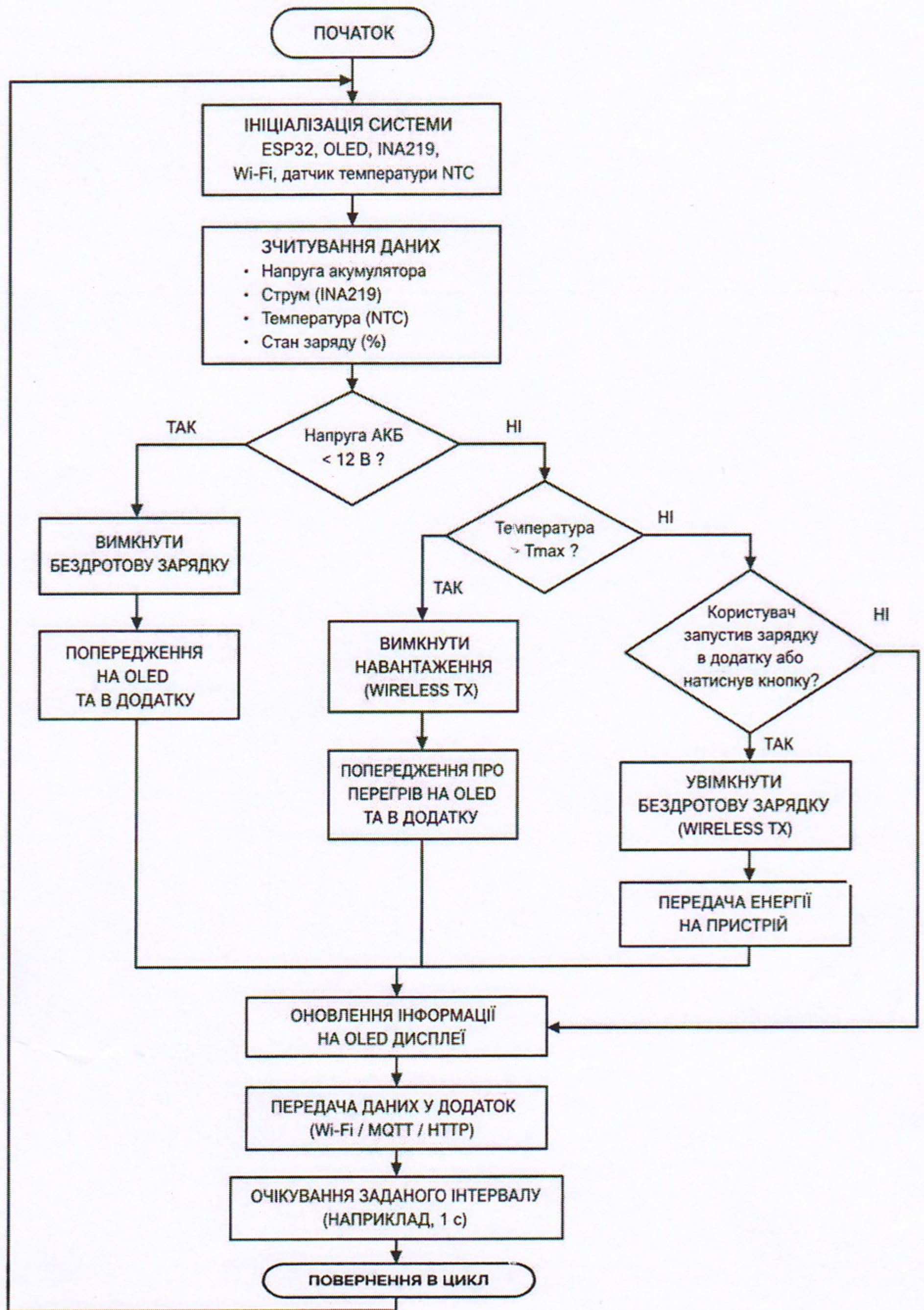
```
        chart.data.datasets[0].data.shift();
    }

    chart.update();
}, 2000);
}
</script>

</body>
</html>
```



КІТТР.022072.01.03 E1				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Закордонєць В.В	<i>[Signature]</i>	7.06.20
Перевір.		Мішан В.В	<i>[Signature]</i>	9.06.21
Реценз.				
Н. Коштр.		Стецюк В.І	<i>[Signature]</i>	12.06.21
Затверд.		Підченко С.К.	<i>[Signature]</i>	12.06.21
Безпроводний павербанк з контролем через додаток схема електрична структурна			Лім.	Арк.
				2
			ФІТ, ХНУ	



					КПТР.022072.01.03 БС		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Закордонєць В.В		7.06.2018	Лім.	Арк.	Акрушіє
Перевір.		Мішан В.В		8.06.18		1	
Реценз.					ФІТ, ХНУ		
Н. Коїтр.		Стецюк В.І		12.06.18			
Затверд.		Підченко С.К.		12.06.18			

Безпроводний павербанк з контролем через додаток
Блок-схема алгоритму роботи



ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Безпровідний павербанк з контролем через додаток

Кваліфікаційний проєкт бакалавра | Спеціальність 172

Виконав: Закордонець Володимир (ТР2-22-1)

Керівник: доц. Мішан В.В.

Кафедра ТМІТ, 2026

АКТУАЛЬНІСТЬ ТА ПРОБЛЕМАТИКА

Сучасні портативні пристрої часто виступають "чорними скриньками" для користувача, не надаючи даних про реальну телеметрію.

❗ **Інформаційний дефіцит:** Відсутність точних даних про напругу, струм та нагрів АКБ.

🚒 **Безпека Qi:** Ризики перегріву літій-іонних комірок під час індуктивної передачі енергії.

⚙️ **Потреба IoT:** Необхідність інтелектуального захисту на базі BLE-синхронізації.



МЕТА ТА ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ



Hardware

Проектування силового тракту на базі 1S4P та контролера ESP32-WROOM-32.



Telemetry

Реалізація точного збору даних струму (ACS712), напруги та температури (NTC).



Software

Розробка Android-застосунку для візуалізації SoC% та стану системи захисту.

АНАЛІЗ РИНКОВИХ АНАЛОГІВ

Характеристика	Xiaomi Wireless	Anker PowerCore	Проектний зразок
Ємність (mAh)	10 000	10 000	13 600 (Li-ion 18650)
BLE Телеметрія	✘ Відсутня	✘ Відсутня	✔ Наявна (Dashboard)
Контроль нагріву	Базовий (біметалевий)	Програмний	Адаптивний (NTC Network)
Собівартість	~1400 грн	~1850 грн	~900 грн

АРХІТЕКТУРА ТА ПІДСИСТЕМИ



Енергетична

Масив 18650 (1S4P) → BMS
DW01A → Boost MT3608 → Qi
Transmitter.



Вимірювальна

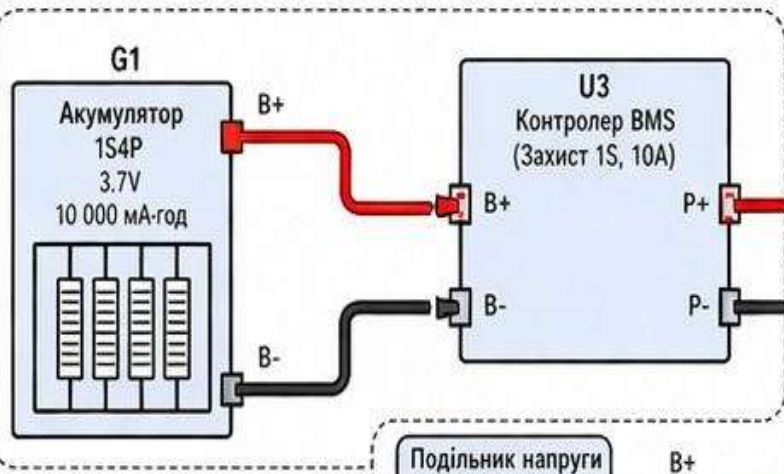
ACS712, подільники V, термістори
заведені на 12-бітний АЦП
мікроконтролера.



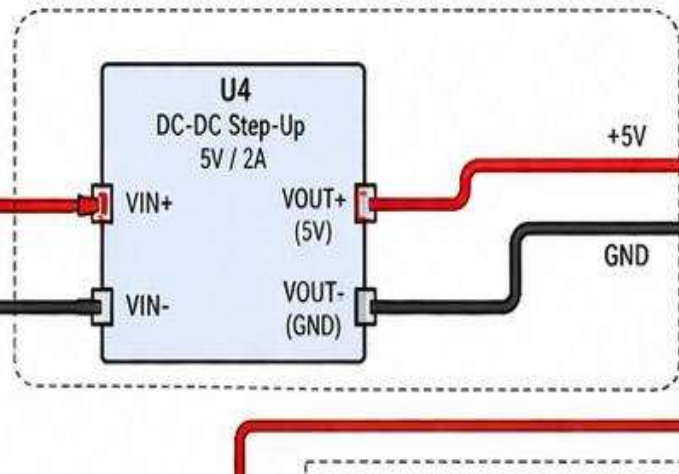
Комунікаційна

Протокол Bluetooth Low Energy
(BLE) для трансляції JSON-пакетів
телеметрії.

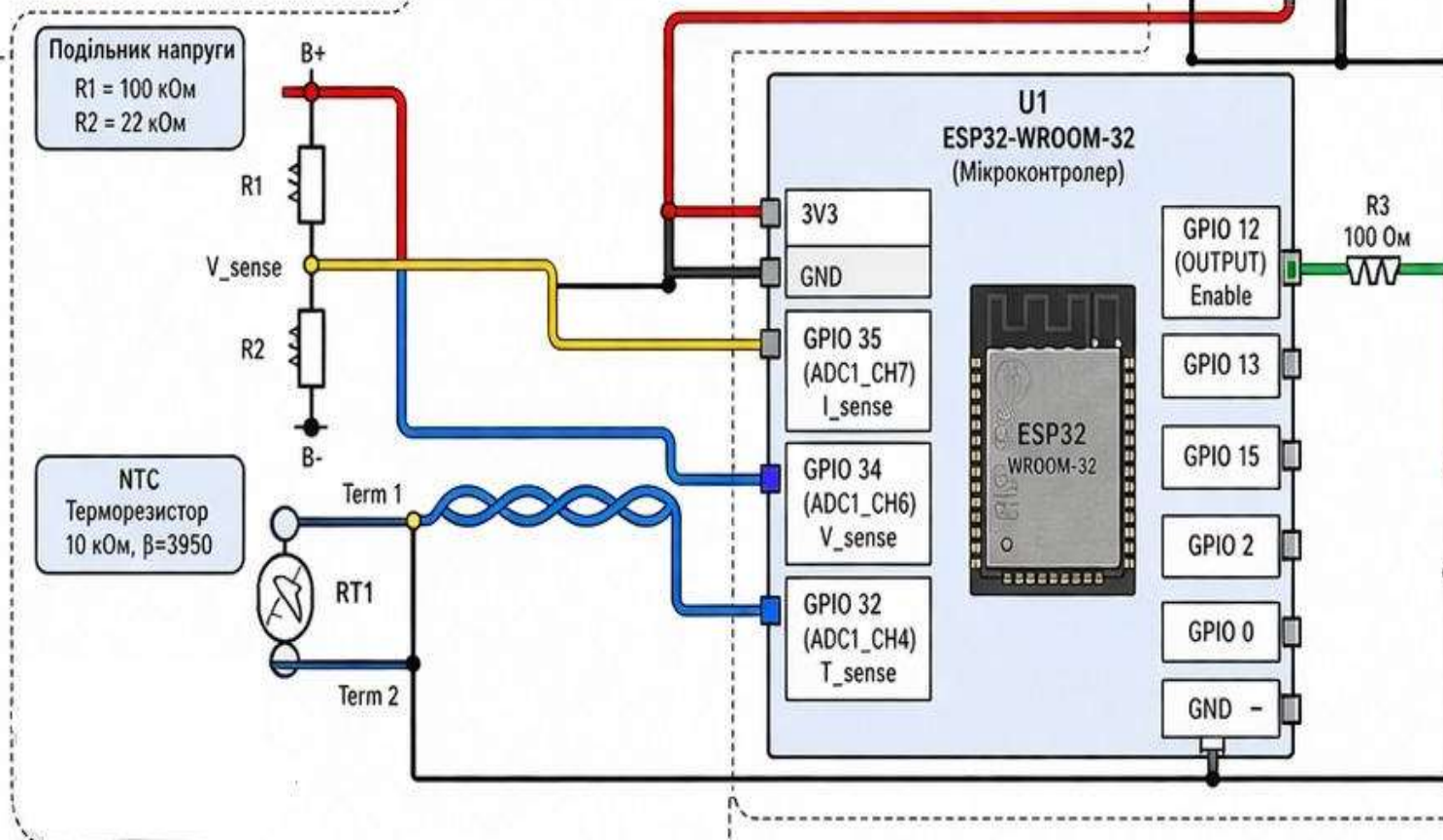
1. Енергетичний вузол (Силкові лінії)



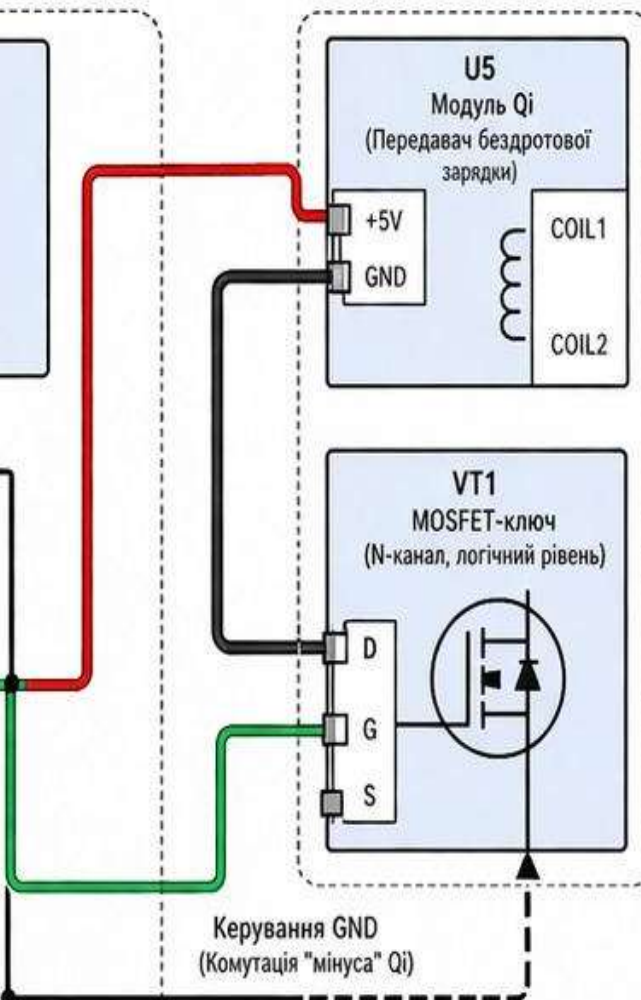
2. Вимірювальний вузол



3. Керуючий вузол (ESP32)



4. Виконавчі вузли



КЛЮЧОВА ЕЛЕМЕНТНА БАЗА



ESP32-WROOM-32

Ядро системи з підтримкою BLE/Wi-Fi та 12-бітним АЦП.



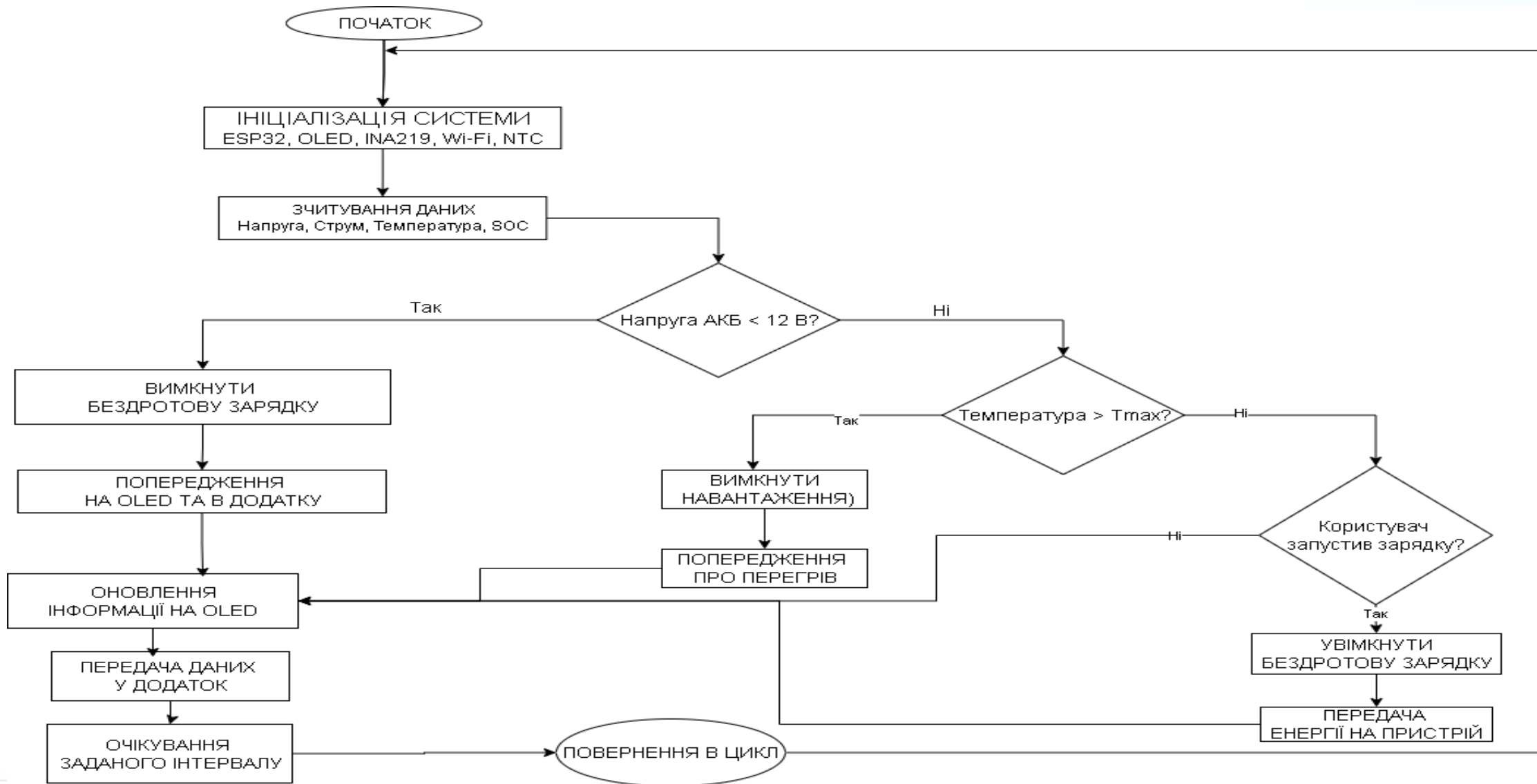
Li-ion 18650

Масив 1S4P ємністю 13.6Ah для стабільної автономності.



Індуктивний передавач енергії

Блок-схема алгоритму роботи



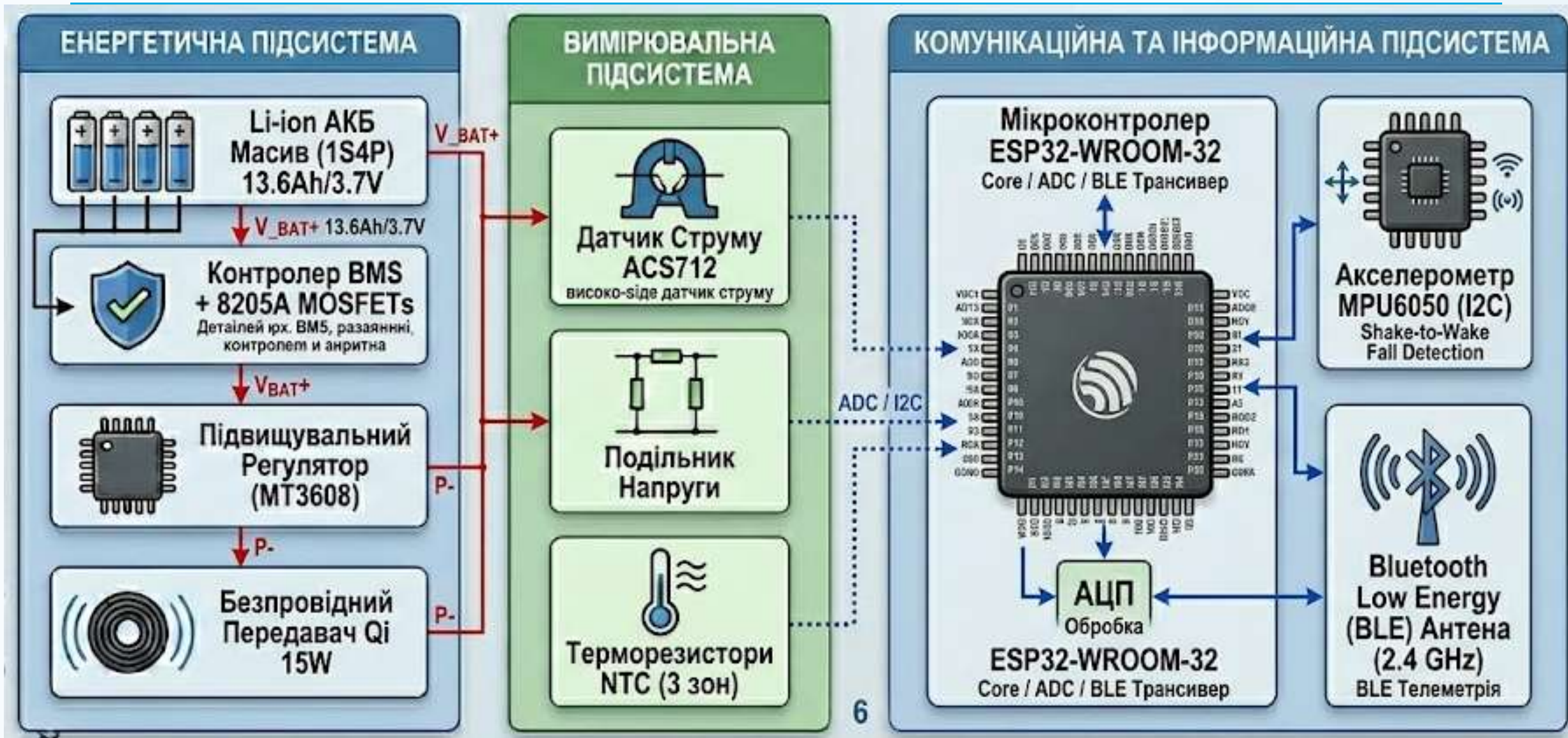
СПЕЦИФІКАЦІЯ: АКТИВНІ КОМПОНЕНТИ ТА ІС

Поз.	Найменування	Тип / Модифікація	К-сть	Функціональне призначення
Мікросхеми та Мікроконтролери				
DD1	Wi-Fi / Bluetooth мікроконтролер	ESP32-WROOM-32	1	Центральне керування та BLE-телеметрія
DA1	Контролер заряду Li-ion АКБ	TP4056	1	Керування зарядом від входу USB-C
DA2	Мікросхема апаратного захисту АКБ	DW01A	1	Система захисту комірок (BMS)
DA3	Імпульсний підвищувальний DC-DC	MT3608	1	Формування стабільної шини виходу 5V
DA4	Лінійний регулятор напруги (LDO)	RT9193-3.3	1	Чисте стабілізоване живлення логіки МК
DA5	Аналоговий датчик струму Холла	ACS712ELCTR-30A	1	Гальванічно розв'язаний моніторинг струму
Акумулятори та Напівпровідники				
GB1	Акумуляторна батарея Li-ion	Масив 1S4P (3.7 В)	1	Основний накопичувач енергії пристрою
VT1	Транзистор N-канальний (збірка)	8205A	1	Силовий ключ захисту лінії батареї


СПЕЦИФІКАЦІЯ: ПАСИВНІ ЕЛЕМЕНТИ СХЕМИ


Група	Позиційні позначення	Номинал / Тип	К-сть	Роль у схемі
Фільтрація та Конденсатори				
Керамічні	C1, C8-C10 / C2-C4, C11-C15	10 мкФ / 100 нФ	4 / 8	Вхідні фільтри / Декуплінг логіки
Електроліти	C5 / C6, C7	470 мкФ / 22 мкФ	1 / 2	Низькочастотне згладжування / Вихідний фільтр
Резистивні Дільники та Обв'язка				
Струмові	R1, R2 / R3 / R4	5.1 кОм / 1.3 кОм / 1 кОм	2 / 1 / 1	Конфігурація USB-C CC / Задає струм заряду
Дільники	R10, R11 / R8, R9 / R7	100 кОм + 20 кОм / 10 кОм	2 / 2 / 1	Подільник напруги АЦП / Узгодження I2C / Pull-down
Дискретні та Інші елементи				
Діоди	VD3 / VD4, VD5 / FU1	SS14 (Шоттки) / BAV199 / Polyfuse	1 / 2 / 1	Силовий діод Boost / Захист АЦП / Запобіжник
Індуктивність	L1	22 мкГн (Силовий дросель)	1	Накопичувач енергії перетворювача МТ3608


СТРУКТУРНА ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА



АНАЛІЗ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ (Е3)

 **DA1/DA2:** Поєднання TP4056 для заряду та DW01A для апаратної безпеки.

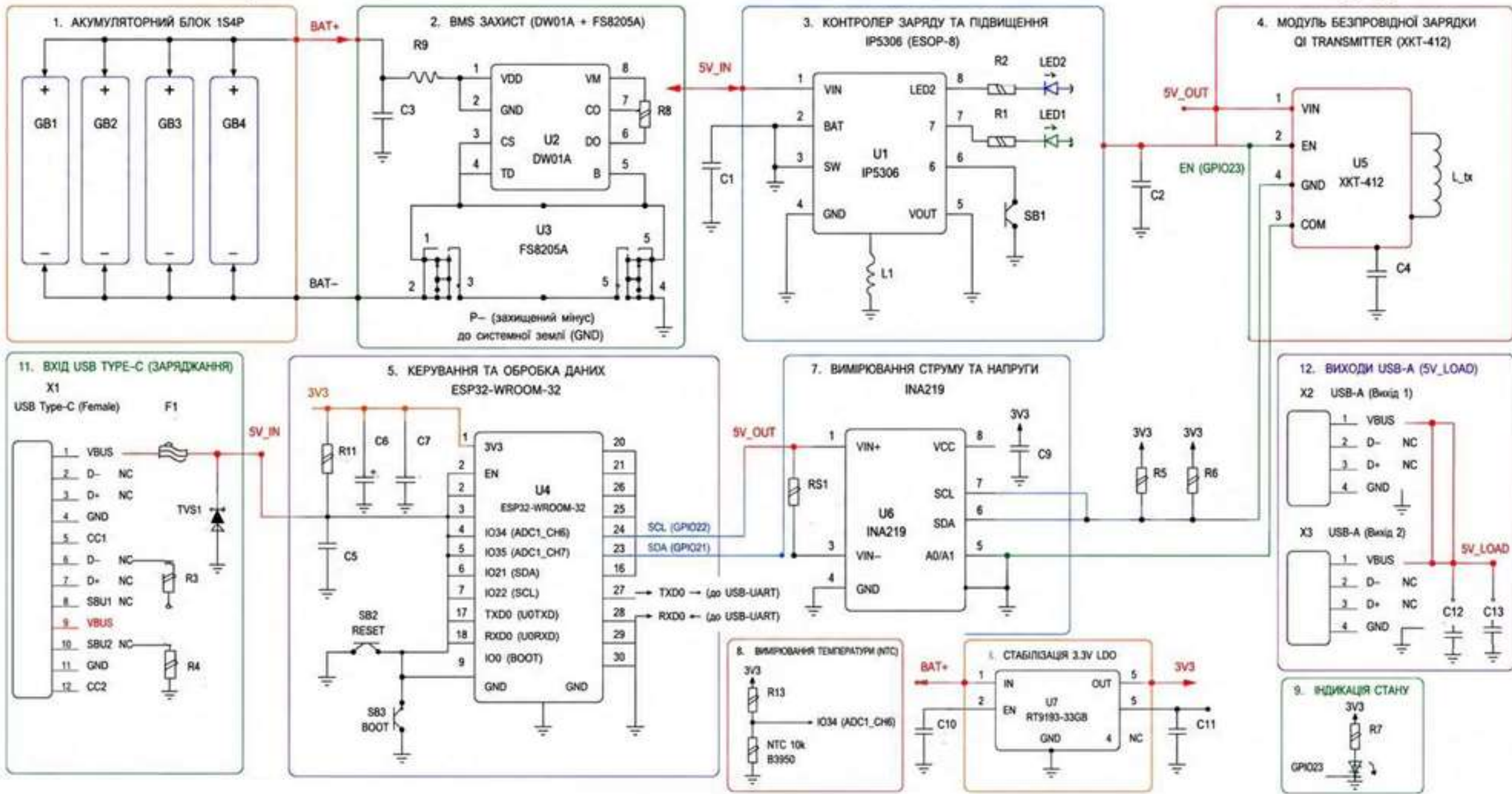
 **Boost DA3:** Інвертор MT3608 стабілізує 5В; керований GPIO_EN сигналом для сну.

 **V/I Sensors:** Використання ACS712 та захисних стабілітронів VD4/VD5 для портів АЦП.

 **DA4:** LDO RT9193 забезпечує чисте живлення логіки 3.3В.

Особливості КПТР.022072.01.03 Е3:

Схема декомпозована на 6 блоків. Враховано RC-фільтри на вимірювальних лініях для придушення високочастотного шуму від котушки Qi (1.2 МГц).



ЕНЕРГЕТИЧНІ РОЗРАХУНКИ

13.6
Ah (Ємність)

50.32
Wh (Wbat)

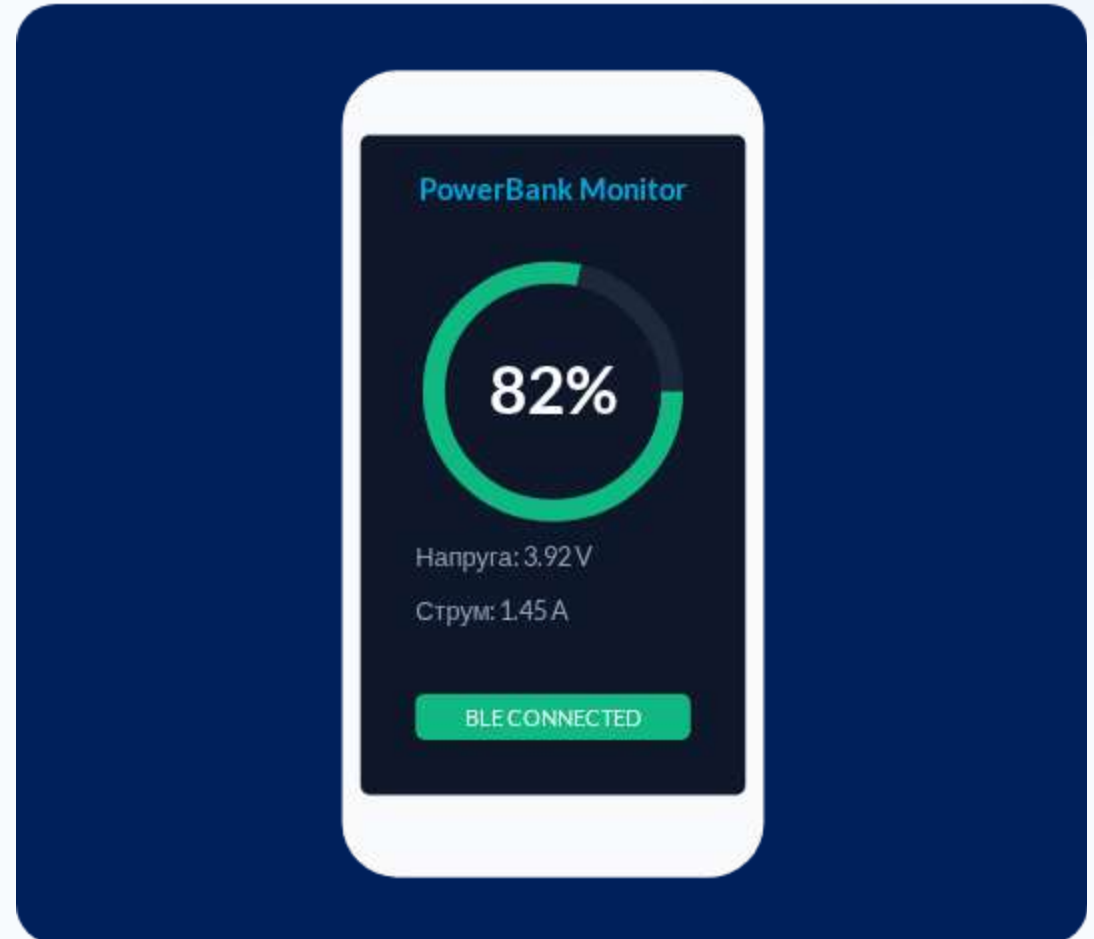
$$W_{\text{bat}} = C_{\text{total}} \cdot U_{\text{nom}} = 13.6 \cdot 3.7 = 50.32 \text{Вт} \cdot \text{год}$$

З урахуванням ККД системи ~70%, пристрій забезпечує понад 6 годин безперервної роботи на потужності 15 Вт.

ЗАСТОСУНОК TELEMETRY 1.0

Функціональні можливості:

- Візуалізація SoC% (State of Charge).
- Точний моніторинг напруги, струму та температури кожної зони.
- Статус підключення «BLE: CONNECTED».
- Автономне знеструмлення при падінні (Fall Detection).



ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Вузол	Компоненти (BOM)	Вартість (грн)
Енерговузол	Li-ion 18650 (4), BMS DW01A, Qi Module	~450
Управління	ESP32-WROOM-32, Sensors Network	~320
Конструктив	PCB, ABS Корпус, Дрібні компоненти	~130
РАЗОМ	Собівартість прототипу	~900 грн

Проект конкурентоспроможний: на 35% дешевше ринкових аналогів при вищій функціональності.

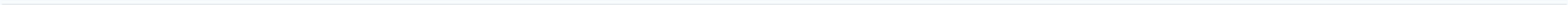
Дякую за увагу!

Кваліфікаційний проєкт виконано в повному обсязі.



Закордонець Володимир Вікторович

v.zakordonets@nu.edu.ua



Завідувачу кафедри телекомунікацій,
медійних та інтелектуальних технологій
д.т.н., професору ПІДЧЕНКУ Сергію
здобувача вищої освіти
Закордонця Володимира Вікторовича
ФІТ, гр. ТР2-22-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений. Надаю університету право на передачу мого кваліфікаційного проєкту для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом мого кваліфікаційного проєкту «Безпроводний павербанк з контролем через додаток» в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія мого кваліфікаційного проєкту збігається (ідентична) з друкованою.

04 червня 2026 р.



_____ (підпис)

Anti-Plagiarism (<http://ap.km.ua>) v-16.718

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: UA, US, RU. Помилки в документах: 13%

ID: 273694 Назва: Безпровідний павербанк з контролем через додажок Додано в БД: 2026-06-04 Автора: Закордонець Володимир Вікторович Керівники: Мішан Віктор Володимирович Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	77666	644	1190 (2%)	18 (3%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

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

Автор: Володимир Закордонець TP2-22-1

Співавтор:

Назва: Безпроводний павербанк з контролем через додаток

Науковий керівник: Віктор МІШАН, к.т.н., доц.

Підрозділ: Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

Коефіцієнт подібності 1: 2.84%

Коефіцієнт подібності 2: 0.37%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 8

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-06-05 09:36:05.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

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

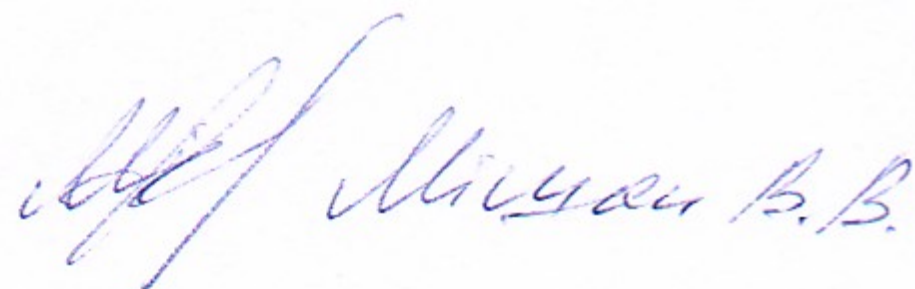
Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

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

Обґрунтування:

Дата 06.06.2026

експерт

 Віктор Мішан В.В.

РІШЕННЯ КАФЕДРИ

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОГО ПРОЕКТУ ДО ЗАХИСТУ

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

Назва: Безпроводний павербанк з контролем через додаток

Автор: **Закордонець Володимир Вікторович**

Спеціальність: **172 Телекомунікації та радіотехніка**

Освітня програма: Телекомунікації та радіотехніка

Науковий керівник: **к.т.н., доц. Мішан Віктор Володимирович**

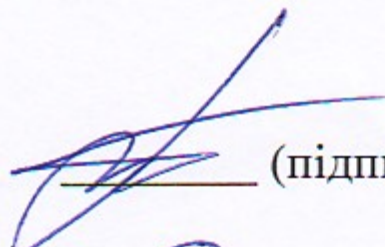
Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

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

Підтвердження: Запозичення у розмірі 1,00%, виявлені в роботі, відповідають тексту стандартних бланків, решта запозичень є випадковими, тому ці запозичення не є плагіатом, бо вони не стосуються практичної значущості роботи.


" 3 " 06 2026 р.

Відповідальний за перевірку на плагіат
к.т.н., доц.

 (підпис)

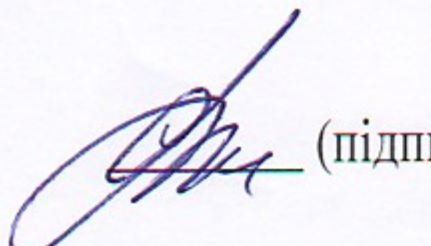
Пивовар О.С.

Нормоконтроль
к.т.н., доц.

 (підпис)

Стецюк В.І.

Зав. каф. ТМІТ
к.т.н., доц.

 (підпис)

Підченко С.К.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЕКТ

Дипломник: Закордонець Володимир Вікторович

Тема роботи: «Безпроводний павербанк з контролем через додаток»

Спеціальність: 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Обсяг кваліфікаційного проекту

Кількість листів креслень: 3

Кількість сторінок записки: 71

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень в результаті виконаного наукового дослідження

У кваліфікаційному проекті розроблено безпроводний павербанк з функцією дистанційного контролю параметрів роботи через мобільний застосунок. Проведено аналіз існуючих технічних рішень у сфері портативних джерел живлення та бездротової передачі енергії. Обґрунтовано вибір архітектури пристрою, елементної бази та принципів побудови енергетичної, вимірювальної та інформаційної підсистем. Виконано розрахунки основних параметрів акумуляторного блоку, системи живлення та бездротової передачі енергії. Розроблено структурну та принципову схеми пристрою, алгоритми моніторингу та захисту, а також систему передачі телеметричних даних на базі мікроконтролера ESP32.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню

Кваліфікаційний проєкт виконано відповідно до виданого завдання. Усі поставлені завдання виконані у повному обсязі, а отримані результати відповідають темі та меті роботи.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки та техніки і передових методів роботи

У першому розділі проведено аналіз сучасних бездротових павербанків та визначено основні недоліки існуючих рішень. У другому розділі сформульовано технічні вимоги до розроблюваного пристрою, обґрунтовано вибір архітектури та елементної бази. У третьому розділі виконано необхідні інженерні розрахунки енергетичних параметрів системи. У роботі використано сучасні мікроконтролерні технології, засоби бездротового зв'язку Bluetooth Low Energy, елементи інтелектуального моніторингу та сучасні підходи до побудови систем живлення.

4. Позитивні сторони роботи

Актуальність тематики проєкту. Комплексний підхід до розробки апаратної та програмної частин системи. Використання сучасного мікроконтролера ESP32 та технології Bluetooth Low Energy. Реалізація функцій моніторингу струму, напруги, температури та рівня заряду акумулятора. Наявність інженерних розрахунків та практична спрямованість роботи. Якісне виконання графічної частини проєкту.

5. Негативні сторони роботи

До недоліків роботи можна віднести відсутність результатів практичних випробувань виготовленого дослідного зразка та експериментального підтвердження окремих розрахункових параметрів. Проте зазначені недоліки не мають суттєвого впливу на загальну оцінку роботи.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи

Пояснювальна записка оформлена відповідно до встановлених вимог. Графічна частина виконана на належному технічному рівні, креслення та схеми є інформативними, логічно побудованими та відповідають змісту проєкту.

7. Відгук про роботу в цілому

Кваліфікаційний проєкт є завершеною інженерною розробкою, виконаною на достатньо високому технічному рівні. Автор продемонстрував належні знання за спеціальністю, уміння самостійно вирішувати поставлені інженерні завдання та застосовувати сучасні технічні рішення при проєктуванні електронних систем.

8. Інші зауваження

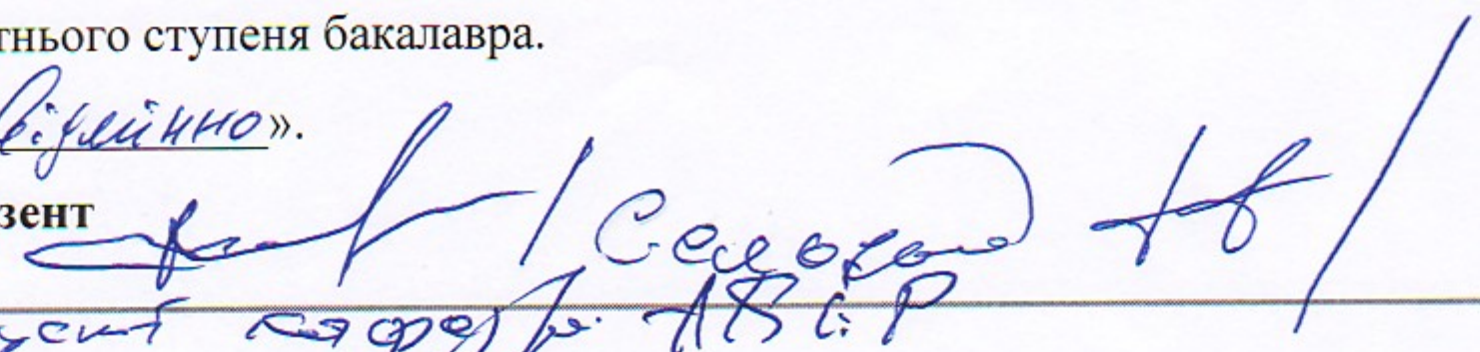
Суттєвих зауважень до змісту та оформлення роботи немає.

9. Оцінка дипломної роботи

Кваліфікаційний проєкт відповідає вимогам, що висуваються до бакалаврських робіт за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка», а його автор заслуговує на присвоєння освітнього ступеня бакалавра.

Оцінка: «Відмінно».

10. Рецензент


доцент кафедри АБСР

«12» 06 2026 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Закордонець Володимир Вікторович на захист кваліфікаційної роботи
(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 172 - Телекомунікації та радіотехніка

На тему: Безпроводний павербанк з контролем через додаток

Кваліфікаційна робота, рецензія і довідка про перевірку на академічні запозичення додаються.

В.О. Декан факультету



Сергій Лисенко

(ім'я, прізвище)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Закордонець В.В. з 2022 по 2025 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за:

національною шкалою: відмінно 17,39 %, добре 60,87 %, задовільно 21,74 %.

шкалою ЄКТС: А 17,39 %, В 30,43 %, С 30,43 %, D 4,35 %, E 17,39 %.

Методист факультету

Тетяна Назар

(підпис)

Тетяна Назар

(ім'я, прізвище)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Закордонець Володимир Вікторович виконав кваліфікаційну роботу на тему "Безпроводний павербанк з контролем через додаток". В роботі розглянуті сучасні проєктні схемотехнічні рішення. Розроблені структурна та принципова схеми пристрою. Використано сучасні програмні засоби. Розглянуті нові алгоритмічні рішення роботи павербанку.

Оцінка кваліфікаційної роботи Відмінно

Керівник кваліфікаційної роботи

Віктор Мішан

(підпис)

(ім'я, прізвище)

" 8 " 06 2026 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Кваліфікаційну роботу розглянуто. Студент Закордонець В.В. допускається до її захисту на екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

ТМІТ

(назва)

Міщенко С.К.

(підпис, ім'я, прізвище)

" 12 " 06 2026 р.