

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра комп'ютерної інженерії та охоронних систем

(повне найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»
БЕЗПЕРЕБІЙНИЙ БЛОК ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ МЕРЕЖЕВОГО
ОБЛАДНАННЯ
UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY FOR NETWORK
EQUIPMENT**

спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Комп'ютерна інженерія

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти

групи КІ-42

Ковалик Роман Анатолійович

(підпис)

Керівник:

к.ф.-м.н., доцент

Бурбан Олександр Вікторович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

« » червня 2026 р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Лавренчук Світлана Василівна

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 12 Інформаційні технології

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доц. Т. Терлецький

« 23 » 12 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ковалику Роману Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Безперебійний блок живлення для мережевого обладнання

Керівник роботи к.ф.-м.н., доцент Бурбан Олександр Вікторович

затверджені наказом закладу вищої освіти від «20» грудня 2025 року № 536/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи 28.05.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Джерелом розробки є науково-технічна література та публікації в періодичних виданнях з даного питання, опубліковані зарубіжні та вітчизняні роботи в даній області, різні інтернет-ресурси технічного спрямування

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

Вступ

Аналіз предметної області та наявних рішень

Апаратна реалізація безперебійного блока живлення

Практична реалізація об'єкта проєктування

Висновки

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Контролер BMS 2S 20A

Підвищуючий зарядний модуль 2S

Модуль пониження напруги на базі XL4015

Підвищуючий перетворювач MT3608

Структурна схема пристрою

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Аналіз предметної області та наявних рішень</i>	<i>Бурбан О. В., доцент</i>		
<i>Апаратна реалізація безперебійного блока живлення</i>	<i>Бурбан О. В., доцент</i>		
<i>Практична реалізація об'єкта проєктування</i>	<i>Бурбан О. В., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Багнюк Н. В., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Лавренчук С. В., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>		%	
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Міскевич О. І., ст. викладач</i>		

7. Дата видачі завдання 23.12.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Огляд літератури із досліджуваної проблеми, аналіз предметної області та наявних рішень</i>	до 10.02.2026 р.	
2.	<i>Аналіз предметної області та наявних рішень</i>	до 02.03.2026 р.	
3.	<i>Апаратна реалізація безперебійного блока живлення</i>	до 02.04.2026 р.	
4.	<i>Практична реалізація об'єкта проєктування</i>	до 10.04.2026 р.	
5.	<i>Представлення остаточного варіанту кваліфікаційної роботи керівникові</i>	до 01.05.2026 р.	
6.	<i>Нормоконтроль</i>	до 23.05.2026 р.	
7.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	до 26.05.2026 р.	
8.	<i>Здача кваліфікаційної роботи та всіх супровідних документів на кафедру</i>	до 28.05.2026 р.	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Роман КОВАЛИК

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Олександр БУРБАН

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ковалик Р. А. Безперебійний блок живлення для мережевого обладнання. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Комп'ютерна інженерія» спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел.

У першому розділі проаналізовано наукові та прикладні джерела щодо безперебійного живлення, енергетичної стійкості телекомунікаційних мереж і підходів до підвищення ефективності резервних систем. Обґрунтовано актуальність забезпечення безперервної роботи мережевого обладнання, зокрема роутерів, модемів і мережевих терміналів, які є чутливими до короткочасних перебоїв електроживлення.

У другому розділі проаналізовано типи акумуляторів, обґрунтовано вибір літій-іонних елементів формату 18650 та визначено основні компоненти пристрою: BMS 2S 20A, зарядний модуль 2S, перетворювачі XL4015 і MT3608, а також MOSFET-транзистори IRF3205. Описано призначення цих елементів і порядок їх підключення.

У третьому розділі здійснено практичну реалізацію пристрою. Спроектовано корпус із використанням CAD-моделювання та можливістю виготовлення методом 3D-друку. Описано процес збирання: формування акумуляторної збірки, підключення BMS-плати, монтаж електронних модулів, вузла комутації, перетворювачів і вихідних роз'ємів. Результатом роботи є практично реалізований прототип безперебійного блока живлення для мережевого обладнання.

Ключові слова: безперебійний блок живлення, мережеве обладнання, акумулятор 18650, BMS 2S, XL4015, MT3608, IRF3205, DC-DC перетворювач.

ANNOTATION

Kovalyk R. Uninterruptible power supply for network equipment. Manuscript.

Qualifying work of a bachelor of EP «Computer Engineering» specialty 123 Computer Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Qualification work consists of an introduction, three sections, conclusions, a reference.

The first chapter analyses scientific and applied sources related to uninterruptible power supply, energy resilience of telecommunication networks, and approaches to improving the efficiency of backup power systems. The relevance of ensuring the continuous operation of network equipment, in particular routers, modems, and network terminals, which are sensitive to short-term power interruptions, is substantiated.

The second chapter analyses the types of rechargeable batteries, substantiates the choice of 18650 lithium-ion cells, and identifies the main components of the device: BMS 2S 20A, 2S charging module, XL4015 and MT3608 converters, as well as IRF3205 MOSFET transistors. The purpose of these components and the procedure for their connection are described.

The third chapter presents the practical implementation of the device. The enclosure was designed using CAD modelling with the possibility of manufacturing it by 3D printing. The assembly process is described, including the formation of the battery pack, connection of the BMS board, installation of electronic modules, the switching unit, converters, and output connectors. The result of the work is a practically implemented prototype of an uninterruptible power supply for network equipment.

Keywords: uninterruptible power supply, network equipment, 18650 battery, BMS 2S, XL4015, MT3608, IRF3205, DC-DC converter.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА НАЯВНИХ РІШЕНЬ.....	9
1.1 Роль безперебійного живлення у забезпеченні працездатності мережевого обладнання.....	9
1.2 Класифікація, принципи роботи та основні параметри джерел безперебійного живлення	12
1.3 Сучасні підходи до підвищення ефективності, моніторингу та енергетичної стійкості ДБЖ.....	17
РОЗДІЛ 2 АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО БЛОКА ЖИВЛЕННЯ	23
2.1 Вибір акумуляторних елементів для проєкту.....	23
2.2 Підбір компонентної бази	26
2.3 Підключення компонентів	33
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ОБ'ЄКТА ПРОЄКТУВАННЯ	38
3.1 Проєктування корпусу до пристрою.....	38
3.2 Збирання пристрою	47
3.3 Тестування пристрою	54
ВИСНОВКИ.....	55
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасна мережева інфраструктура є важливою складовою інформаційного середовища, оскільки забезпечує доступ до Інтернету, передавання даних, роботу хмарних сервісів, систем дистанційного навчання, відеоспостереження, електронного документообігу та інших цифрових послуг. Роутери, модеми, ONU-термінали, невеликі комутатори й точки доступу здебільшого належать до малопотужних пристроїв, однак їх вимкнення навіть на короткий час призводить до втрати мережевого з'єднання, переривання активних сеансів зв'язку та необхідності повторного встановлення підключення. У таких умовах забезпечення стабільного живлення мережевого обладнання набуває практичного значення, особливо за наявності частих короткочасних або тривалих перебоїв електропостачання.

Використання класичних джерел безперебійного живлення змінного струму не завжди є раціональним для малопотужного мережевого обладнання, оскільки такі пристрої зазвичай працюють від постійної напруги 5 В, 9 В або 12 В. Подвійне перетворення енергії, коли акумуляторна напруга спочатку перетворюється у 220 В, а потім штатним адаптером знову знижується до потрібної постійної напруги, призводить до додаткових втрат і зменшення часу автономної роботи. Тому актуальним є розроблення компактного низьковольтного безперебійного блока живлення постійного струму, який забезпечує стабілізовані вихідні напруги для мережевого обладнання, має захист акумуляторної збірки, підтримує заряджання від доступного джерела живлення та може бути реалізований у зручному корпусі.

Метою роботи є розробка та практична реалізація безперебійного блока живлення для мережевого обладнання, який забезпечує автономну роботу малопотужних пристроїв зв'язку, стабілізацію вихідних напруг і безпечну експлуатацію акумуляторної збірки.

Об'єкт дослідження – процес забезпечення безперервного електроживлення малопотужного мережевого обладнання в умовах перебоїв основного електропостачання.

Предмет дослідження – апаратна структура, компонентна база, схема підключення та конструктивна реалізація безперебійного блока живлення для мережевого обладнання.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно виконати такі завдання:

- дослідити особливості електроживлення мережевого обладнання та вимоги до безперебійного блока живлення постійного струму;
- реалізувати вибір акумуляторної збірки та компонентної бази пристрою з урахуванням напруги, струму, енергоефективності, безпеки й доступності елементів;
- розробити схему підключення основних електронних компонентів, зокрема BMS 2S 20A, зарядного модуля 2S, перетворювачів XL4015 і MT3608 та MOSFET-транзисторів IRF3205;
- візуалізувати структурну схему та окремі етапи підключення компонентів безперебійного блока живлення;
- спроектувати корпус пристрою з урахуванням розміщення акумуляторної збірки, електронних модулів, роз'ємів, перемикачів і кнопки вмикання;
- запропонувати практичну конструкцію безперебійного блока живлення, придатну для збирання, 3D-друку корпусу та подальшого використання з мережевим обладнанням.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА НАЯВНИХ РІШЕНЬ

1.1 Роль безперебійного живлення у забезпеченні працездатності мережевого обладнання

У сучасних умовах функціонування інформаційних систем стабільність електроживлення є однією з базових передумов надійної роботи мережевої інфраструктури. Роутери, модеми, комутатори, мережеві термінали, точки доступу, оптичні мережеві пристрої та серверні вузли забезпечують передавання даних, підтримку доступу до хмарних сервісів, роботу систем відеоспостереження, дистанційного навчання, електронного документообігу, інтернет-телефонії та інших цифрових сервісів. Навіть короткочасне зникнення напруги може призвести не лише до припинення доступу до мережі, а й до втрати з'єднань, перезавантаження обладнання, порушення сеансів передавання даних, зупинки служб моніторингу або недоступності критичних інформаційних ресурсів. Саме тому в сучасних дослідженнях джерело безперебійного живлення для мережевого обладнання розглядається не як допоміжний побутовий пристрій, а як важливий елемент підтримання безперервності цифрової комунікації [1].

Особливої актуальності проблема безперебійного живлення набула в Україні, де стабільність електропостачання безпосередньо пов'язана із збереженням доступу до Інтернету, безперервністю роботи підприємств, навчальних закладів, медичних установ, органів управління та побутових користувачів. У дослідженні В. О. Небеснюка, О. Ю. Небеснюк, З. А. Ніконової та А. А. Ніконової зазначено, що використання Інтернет-з'єднання в умовах відключень електроенергії стає необхідністю в різних сферах життя, а забезпечення мережевого обладнання джерелами безперебійного живлення може відігравати ключову роль у підтриманні надійного та швидкого підключення до мережі [1]. Автори також підкреслюють, що актуальним є

створення пристрою, здатного забезпечити автономну та безперебійну роботу роутерів, модемів, мережевих терміналів та інших пристроїв [1].

Мережеве обладнання має специфічні експлуатаційні особливості, які відрізняють його від багатьох інших побутових споживачів електроенергії. Більшість маршрутизаторів, модемів та оптичних терміналів працює від низьковольтного постійного живлення, зазвичай у діапазоні 9-15 В, і характеризується порівняно невеликою споживаною потужністю. Водночас такі пристрої мають тривалий час повного відновлення після вимкнення, оскільки перезавантаження, встановлення з'єднання з провайдером, отримання мережевих параметрів та відновлення Wi-Fi-покриття можуть тривати до кількох хвилин. Тому навіть короткочасне зникнення напруги, яке для деяких електроприладів не є критичним, для мережевого обладнання може спричинити втрату зв'язку, розрив активних підключень і тимчасову недоступність цифрових сервісів.

З позиції надійності мережевої інфраструктури джерело безперебійного живлення не можна розглядати лише як акумуляторний блок, який тимчасово замінює електромережу. Його функціональне призначення є значно ширшим, оскільки воно має забезпечувати електричну сумісність із підключеним обладнанням, підтримувати стабільні параметри напруги, обмежувати вплив провалів і перенапруг, запобігати глибокому розряду акумуляторів, зменшувати ризик пошкодження електроніки та забезпечувати прогнозований час автономної роботи. У роботі, присвяченій системі безперебійного живлення мережевого обладнання, виділено типові проблеми мереж електроживлення: зникнення напруги, короткочасне зниження напруги, перенапругу, тривале відхилення напруги від допустимих значень, електромагнітні завади, імпульсні перенапруги, відхилення частоти та гармонічні спотворення [1]. Для мережевого обладнання ці явища є небезпечними не лише через імовірність повного вимкнення, а й через можливі збої в роботі адаптерів живлення, контролерів, портів зв'язку та внутрішніх схем стабілізації.

Огляд сучасних публікацій свідчить, що проблематика безперебійного живлення розглядається у двох взаємопов'язаних площинах. Перша стосується безпосередньо локального джерела безперебійного живлення (ДБЖ) як технічного пристрою, до складу якого входять акумулятор, зарядний вузол, стабілізатор, інвертор або DC/DC-перетворювач, засоби контролю та захисту. Друга площина охоплює ширший контекст енергетичної стійкості телекомунікаційних мереж, де резервне живлення є складовою підготовки до аварій, реагування на відключення та відновлення працездатності інфраструктури. У комплексному огляді A. Cabrera-Tobar, F. Grimaccia та S. Leva зазначено, що телекомунікаційні мережі стають критично важливими для функціонування суспільства, а забезпечення їхньої стійкості під час енергетичних порушень є важливим завданням сучасної інфраструктури [2].

На рівні телекомунікаційних мереж перебої живлення мають масштабний вплив, оскільки відмова окремого елемента може порушити роботу великої кількості користувачів. У дослідженні енергетичної стійкості телекомунікаційних мереж розглянуто вплив системних відмов, людських помилок, природних явищ та апаратних несправностей на доступність послуг зв'язку [2]. Для зменшення таких ризиків у літературі пропонується застосовувати резервні системи живлення, акумуляторні накопичувачі, дизель-генератори, паливні елементи, мобільні енергетичні рішення та мікромережі [2]. Хоча такі рішення здебільшого стосуються базових станцій і великих об'єктів зв'язку, їх логіка є важливою і для кваліфікаційної роботи, присвяченої локальному ДБЖ для мережевого обладнання, оскільки на нижчому рівні інфраструктури постають аналогічні завдання: забезпечити автономність, надійність, контроль стану джерела енергії та безпечне відновлення роботи після аварійної ситуації.

У літературі також підкреслюється, що безперебійне живлення відрізняється від гарантованого живлення саме відсутністю допустимої паузи під час переходу на резервне джерело. У випадку гарантованого електроживлення допускається короткий інтервал, необхідний для запуску резервного джерела,

наприклад генератора. У системах безперебійного живлення резервне джерело має бути активоване практично миттєво, оскільки навіть незначна пауза може призвести до перезавантаження електронного пристрою. Для мережевого обладнання така вимога є особливо важливою, адже перезапуск роутера або оптичного термінала може спричинити втрату доступу до мережі навіть після відновлення електроживлення. Саме тому в локальному ДБЖ для мережевого обладнання бажано або мінімізувати час перемикання, або застосовувати таку структуру живлення, у якій акумулятор працює в буферному режимі та забезпечує безперервність вихідної напруги без помітної паузи.

Таким чином, аналіз літератури показує, що безперебійний блок живлення для мережевого обладнання доцільно розглядати як спеціалізований технічний засіб підтримання інформаційної доступності. Його цінність визначається не лише ємністю акумулятора, а й здатністю забезпечити стабільну вихідну напругу, достатній час автономної роботи, безпечну роботу акумулятора, захист від аварійних режимів і мінімальну або нульову перерву під час переходу між режимами живлення. Для апаратної реалізації необхідно враховувати не лише електричні характеристики окремих компонентів, а й реальні умови експлуатації мережевого обладнання, зокрема часті короткочасні та тривалі відключення, коливання напруги, потребу в компактності, простоті обслуговування і можливості контролю параметрів роботи.

1.2 Класифікація, принципи роботи та основні параметри джерел безперебійного живлення

Наукові та інженерні джерела подають ДБЖ як пристрій, який дає змогу комп'ютерному, мережевому або іншому електронному обладнанню продовжувати роботу під час втрати основного джерела живлення та забезпечує захист від окремих порушень якості електроенергії. У дослідженні С. Р. Аварісія, присвяченому розробленню джерела безперебійного живлення з функціями енергозбереження, зазначено, що UPS виконує роль резервного джерела у

випадку відмови основного живлення або зниження напруги до неприйняттого рівня [3]. Такий підхід є важливим і для мережевих пристроїв, хоча для них пріоритетним часто є не завершення роботи, а саме безперервне підтримання функціонування без перезавантаження.

У загальному вигляді структура ДБЖ включає випрямляч, акумуляторну батарею, інвертор, зарядний пристрій, схеми комутації, стабілізації та захисту. Випрямляч виконує перетворення змінної напруги в постійну та забезпечує заряд акумуляторної батареї. Акумулятор виступає центральним елементом резервування, від якого залежить тривалість автономної роботи. Інвертор перетворює постійну напругу акумулятора у змінну, якщо навантаження потребує живлення змінним струмом [3]. Для мережевого обладнання, яке зазвичай працює від постійної низької напруги, структура може бути спрощена: замість класичного інвертора 220 В доцільно використовувати DC/DC-перетворювач із необхідною вихідною напругою. Проте принципова логіка залишається подібною: накопичення енергії в акумуляторі, автоматичний перехід на резервне живлення, стабілізація вихідної напруги та захист навантаження.

За топологією джерела безперебійного живлення найчастіше поділяють на резервні, лінійно-інтерактивні та онлайн-системи з подвійним перетворенням. У резервній, або offline-топології, навантаження у нормальному режимі живиться від мережі, а під час аварії автоматично перемикається на акумулятор та інвертор. Перевагами такого підходу є простота, компактність, порівняно низька вартість і достатність для багатьох малопотужних споживачів. Недоліком є ненульовий час перемикання, а також інтенсивніше використання акумулятора у випадку частих нестабільностей мережі. У роботі В. О. Небеснюка та співавторів підкреслено, що offline UPS має просту будову та невелику вартість, однак характеризується ненульовим часом переходу до акумуляторного живлення [1].

Онлайн-системи працюють за принципом подвійного перетворення енергії. Спочатку вхідна змінна напруга перетворюється у постійну за

допомогою випрямляча, після чого інвертор знову формує змінну вихідну напругу необхідних параметрів. Акумулятор у такій схемі підключений до проміжної DC-шини, тому перехід на резервне живлення не потребує механічного або електронного перемикавання навантаження в момент зникнення мережі. У літературі підкреслюється, що онлайн UPS забезпечує високу якість вихідної напруги та нульовий час перемикавання, однак має більшу складність, вищу вартість і нижчий коефіцієнт корисної дії через подвійне перетворення [1]. Для серверів, дата-центрів, медичного обладнання і критичних мережевих вузлів така топологія є найбільш надійною, проте для малопотужних роутерів і модемів вона не завжди економічно виправдана.

Лінійно-інтерактивні ДБЖ займають проміжне положення між резервними та онлайн-системами. Вони можуть частково стабілізувати напругу без переходу на акумулятор, що зменшує кількість циклів розряду та заряджання батареї. Для мережевого обладнання така логіка може бути корисною, якщо пристрій живиться через стандартний адаптер змінного струму. Однак у разі розроблення спеціалізованого низьковольтного ДБЖ доцільно орієнтуватися не на повторне формування 220 В, а на безпосереднє резервування постійної напруги, яка фактично потрібна роутеру або мережевому терміналу. Такий підхід дає змогу зменшити втрати енергії, спростити схему і підвищити тривалість автономної роботи за тієї самої ємності акумулятора.

Одним із ключових параметрів ДБЖ є час перемикавання. Для мережевого обладнання цей параметр має особливе значення, оскільки блоки живлення роутерів та оптичних терміналів можуть мати обмежену здатність витримувати провали напруги. У резервних системах час переходу може становити кілька мілісекунд або більше, що в деяких випадках призводить до перезавантаження обладнання. У дослідженні С. Р. Abaricia зазначено, що standby UPS переходить на живлення від акумулятора у випадку зникнення, просідання або перенапруги, а інвертор і батарея забезпечують живлення навантаження за час перемикавання менше 10 мс [3]. Для мережевих пристроїв, які критично залежать від безперервності низьковольтного живлення, доцільним є зменшення цього часу

або використання буферного підключення акумулятора, за якого сам термін «перемикання» фактично втрачає значення.

Другим важливим параметром є вихідна напруга та її стабільність. Для ДБЖ змінного струму важливо забезпечити форму напруги, близьку до синусоїдальної, низький рівень гармонічних спотворень і здатність швидко відновлювати напругу після зміни навантаження. Для низьковольтного ДБЖ мережевого обладнання ключовим є підтримання постійної напруги 5 В, 9 В, 12 В або іншого номіналу залежно від конкретного пристрою. Нестабільність напруги може спричинити перезапуск роутера, помилки в роботі оптичного термінала, нестабільну роботу Wi-Fi-модуля або збої в роботі портів Ethernet. Тому в процесі вибору схемотехнічного рішення необхідно оцінювати не тільки ємність батареї, а й параметри стабілізатора, допустимий струм навантаження, рівень пульсацій і захист від перевантаження.

Третім параметром є час автономної роботи. Він залежить від ємності акумулятора, споживаної потужності обладнання, коефіцієнта корисної дії перетворювачів, глибини розряду, температури та фактичного стану батареї. Для мережевого обладнання з потужністю 5-20 Вт навіть відносно невеликий акумулятор може забезпечити кілька годин автономної роботи, однак реальна тривалість залежить від режиму роботи, якості акумулятора та алгоритму його захисту від глибокого розряду. У дослідженні Р. М. Neelamraju та S. Yellampalli підкреслено, що час роботи UPS пов'язаний із такими параметрами, як температура на позитивному виводі батареї, напруга живлення, струм, середня потужність і загальна енергія, накопичена в батареї [4]. Аналіз цих параметрів дає змогу оцінювати ресурс, безпечність та ефективність системи безперебійного живлення [4].

Акумуляторна батарея є одним із найбільш вразливих і водночас найбільш важливих елементів ДБЖ. Її деградація безпосередньо впливає на реальний час автономної роботи, здатність витримувати навантаження, стабільність вихідної напруги та безпеку експлуатації. У традиційних ДБЖ широко застосовуються свинцево-кислотні акумулятори, які мають невисоку вартість і здатні віддавати

значні струми. Проте вони чутливі до глибокого розряду, потребують правильного режиму заряджання та мають обмежений ресурс. Літій-іонні та літій-залізо-фосфатні батареї мають кращу енергетичну щільність, більшу кількість циклів і меншу масу, однак вимагають обов'язкового застосування системи керування батареєю. Тому вибір акумулятора для ДБЖ мережевого обладнання має враховувати не лише номінальну ємність, а й допустимий струм навантаження, глибину розряду, температурний режим, кількість циклів заряджання та розряджання, а також наявність захисту від перенапруги, перерозряду й короткого замикання.

Не менш важливими є параметри енергоефективності. У випадку малопотужного мережевого обладнання втрати на перетворення можуть бути порівняно значними відносно корисної потужності навантаження. Якщо система спочатку підвищує напругу акумулятора до 220 В, а потім штатний адаптер знову знижує її до 12 В, загальний коефіцієнт корисної дії зменшується. Тому для роутерів, модемів та ONU-терміналів доцільним є використання ДБЖ постійного струму, який безпосередньо формує потрібну вихідну напругу. У дослідженні С. Р. Абагісія, присвяченому ДБЖ з функціями енергозбереження, отримано ефективність близько 90 % і показано можливість зменшення споживання енергії в прикладному прототипі [3]. Це підтверджує важливість оптимізації енергетичних втрат навіть у порівняно простих системах резервного живлення.

Захист від глибокого розряду є критично важливим для збереження акумулятора. Якщо батарея тривалий час перебуває у надмірно розрядженому стані, її ресурс істотно знижується, а в окремих випадках вона може втратити працездатність. Для ДБЖ мережевого обладнання це особливо важливо, оскільки користувач може залишити пристрій у режимі автономної роботи на тривалий час. Отже, у конструкції доцільно передбачити схему автоматичного відключення навантаження при досягненні критичного рівня напруги батареї або використати готовий модуль BMS, який виконує функції захисту акумулятора.

У поєднанні зі стабілізованим DC/DC-перетворювачем це дозволяє забезпечити безпечну та прогнозовану роботу пристрою.

Практичне значення розглянутих підходів полягає в тому, що навіть для малопотужного мережевого обладнання ДБЖ має розглядатися як система з кількома взаємопов'язаними параметрами. Недостатньо вибрати акумулятор потрібної ємності, оскільки стабільність роботи залежить від усього ланцюга: зарядного вузла, захисту батареї, перетворювача напруги, схеми перемикання або буферного підключення, захисту від перевантаження, теплового режиму і моніторингу. У контексті даної роботи доцільним є вибір такої структури, яка відповідає реальному профілю навантаження мережевого обладнання: мала потужність, потреба в тривалій автономності, низька вихідна напруга, небажаність перезавантаження та вимога до простоти експлуатації.

1.3 Сучасні підходи до підвищення ефективності, моніторингу та енергетичної стійкості ДБЖ

Сучасні дослідження у сфері безперебійного живлення дедалі частіше виходять за межі класичної схеми «мережа – акумулятор – інвертор – навантаження». У центрі уваги перебувають енергоефективність, адаптивне керування, інтелектуальний моніторинг, прогнозування деградації батареї, інтеграція з відновлюваними джерелами енергії та підвищення стійкості інфраструктури до тривалих відключень. Для даної розробки ці напрями мають безпосереднє значення, оскільки локальний ДБЖ повинен бути не лише працездатним, а й достатньо автономним, безпечним, контрольованим і здатним працювати в умовах повторюваних перебоїв електропостачання.

Одним із перспективних напрямів є розвиток гібридних ДБЖ, які поєднують акумуляторне резервування, електромережу та відновлювані джерела енергії. У праці R. R. Boros, M. Jobbágy та I. Bodnár розглянуто гібридну UPS-систему з фотоелектричною генерацією, батарейним накопичувачем і живленням від мережі [5]. Автори запропонували стратегію енергоменеджменту,

яка в реальному часі визначає оптимальне співвідношення потужності між батареєю та мережею з урахуванням навантаження, економічних параметрів і стану заряду акумулятора [5]. У цій системі централізований контролер на основі штучної нейронної мережі забезпечує точне керування перетворювачем і випрямлячем, а генетичний алгоритм використовується для оптимізації розподілу потужності [5].

Для роботи, орієнтованої на локальний блок живлення мережевого обладнання, повна реалізація гібридної системи з нейронним керуванням може бути надлишковою. Однак наукове значення таких робіт полягає в демонстрації тенденції: ДБЖ поступово перетворюється з пасивного резервного пристрою на активну систему керування енергією. У майбутньому навіть малі ДБЖ для мережевого обладнання можуть інтегруватися з сонячними панелями, павербанками, акумуляторними станціями або локальними DC-мікромережами. Це особливо актуально в умовах тривалих відключень, коли заряджання від мережі не завжди доступне, а користувач потребує збереження Інтернет-зв'язку протягом багатьох годин.

Іншим сучасним напрямом є інтеграція ДБЖ з IoT-технологіями. Для великих інфраструктур і дата-центрів ручний контроль параметрів UPS є малоефективним, оскільки оператор не завжди може своєчасно виявити перегрів, перевантаження, зниження ємності батареї або нестабільність вихідної напруги. У дослідженні А. К. Mishra, S. Pawar, R. Patil, G. Bhoi та J. Patil запропоновано систему моніторингу UPS для дата-центрів із використанням IoT-технологій [6]. Така система ґрунтується на багаторівневій архітектурі, що охоплює сенсорний рівень, рівень обробки, комунікаційний рівень і рівень користувацького інтерфейсу [6]. Вона використовує датчики вхідної та вихідної напруги, струму навантаження, напруги батареї, температури й швидкості вентилятора, а оброблення даних виконується мікроконтролером ESP32 з передаванням інформації до хмарної платформи через Wi-Fi за протоколами MQTT або HTTP [6].

Для локального ДБЖ мережевого обладнання повна хмарна система моніторингу не завжди є обов'язковою, однак сама ідея постійного контролю параметрів є корисною. Мінімальний набір контрольованих величин може включати напругу акумулятора, вихідну напругу, струм навантаження, температуру силових компонентів і стан заряджання. Якщо ДБЖ використовується в офісі, серверній кімнаті або навчальній лабораторії, доцільно передбачити віддалене повідомлення про аварійні режими. У джерелі, присвяченому IoT-моніторингу UPS, підкреслено, що порівняння вимірних значень із пороговими межами дає змогу виявляти низьку напругу батареї, перевантаження, перегрів і відхилення вхідної або вихідної напруги [6]. Це дає підстави розглядати моніторинг не як додаткову функцію, а як засіб підвищення надійності та передбачуваності роботи системи.

Особливу роль відіграє прогнозне обслуговування акумуляторної батареї. У практичній експлуатації ДБЖ часто вважається справним доти, доки він вмикається і підтримує вихідну напругу. Проте фактична ємність батареї може істотно знизитися ще до очевидної відмови. Це означає, що під час реального відключення система не забезпечить очікуваного часу автономної роботи. Дослідження критичних факторів якості UPS показує, що для оцінювання працездатності системи необхідно аналізувати не лише миттєву напругу, а й часові зміни параметрів, пов'язаних із температурою, струмом, потужністю та накопиченою енергією [4]. Такий підхід дає змогу формувати моделі прогнозування часу роботи навіть за відносно малих наборів даних [4].

Ефективність ДБЖ значною мірою залежить від алгоритму керування навантаженням. Якщо система живить кілька пристроїв, наприклад роутер, ONU-термінал і невеликий комутатор, доцільним може бути пріоритетне відключення другорядного навантаження під час зниження напруги батареї. У джерелі, присвяченому IoT-моніторингу UPS, запропоновано релейне керування навантаженням, за якого надмірне або некритичне навантаження відключається у разі перевантаження [6]. Це зменшує навантаження на батарею, запобігає надмірному розряду та підвищує ресурс акумулятора. Для мережевого

обладнання такий підхід може бути адаптований через поділ вихідних каналів на основний і допоміжний, де основний живить роутер або оптичний термінал, а допоміжний – додатковий пристрій, який може бути тимчасово вимкнений без повної втрати зв'язку.

Тепловий режим є ще одним фактором, який визначає надійність ДБЖ. Під час заряджання акумулятора, роботи DC/DC-перетворювача або інвертора виділяється тепло, яке за недостатнього відведення може призвести до зниження ресурсу компонентів, нестабільності роботи або аварійного відключення. У джерелах з моніторингу UPS наголошується на використанні температурних датчиків і контролі роботи вентилятора для запобігання перегріву [6]. У малопотужному ДБЖ для роутера примусове охолодження може бути непотрібним, однак розміщення силових елементів, вибір радіаторів, якість плати, переріз провідників і вентиляція корпусу мають бути враховані на етапі апаратної реалізації.

Питання енергетичної стійкості телекомунікаційних систем також пов'язане з мікромережами та резервними джерелами більшої потужності. У комплексному огляді енергетичної стійкості телекомунікаційних мереж зазначено, що мікромережі можуть працювати автономно або в поєднанні з основною електромережею, а їхніми складовими можуть бути фотоелектричні панелі, вітрові установки, паливні генератори, батарейні накопичувачі та паливні елементи [2]. Основними цілями мікромереж для базових станцій є підвищення стійкості, зменшення споживання енергії з мережі або дизель-генераторів і зниження викидів [2]. Така логіка може бути перенесена на нижчий рівень: локальний ДБЖ для мережевого обладнання є мікромасштабним засобом підвищення стійкості цифрової інфраструктури окремого приміщення, офісу або навчальної лабораторії.

Водночас огляд літератури показує, що жодне резервне джерело не є універсальним. Дизель-генератори забезпечують значну автономність, але потребують пального, технічного обслуговування, вентиляції та мають екологічні обмеження. Паливні елементи можуть бути ефективними, проте

потребують складної інфраструктури зберігання палива. Акумуляторні системи компактні й швидко реагують, але мають обмежену ємність і залежать від стану батарей. У дослідженні телекомунікаційної стійкості зазначено, що навіть мікромережі не є автоматично стійкими до всіх природних загроз, оскільки можуть постраждати від нестачі пального, пошкодження інфраструктури, обмеженої ємності накопичувачів або логістичних проблем [2]. Для локального ДБЖ це означає, що конструкція має бути простою, ремонтпридатною, енергоефективною та придатною до реальних сценаріїв використання.

Сучасні підходи до керування якістю вихідної напруги мають особливе значення для ДБЖ, які живлять чутливу електроніку. У дослідженні E.-C. Chang, Y.-W. Tseng та C.-A. Cheng розглянуто інтелектуальне робастне керування UPS-інвертором для IoT-пристроїв із замкненим зворотним зв'язком за напругою [7]. Автори зазначають, що високопродуктивний UPS-інвертор має забезпечувати низький коефіцієнт гармонічних спотворень, швидку перехідну реакцію при зміні навантаження та мінімальну статичну похибку [7]. Запропонований підхід поєднує модифіковане ковзне керування та нейронну мережу для компенсації похибок прогнозування за нелінійних навантажень і змін параметрів системи [7]. Для низьковольтного ДБЖ мережевого обладнання це можна інтерпретувати як вимогу до якісного зворотного зв'язку і стабілізації, навіть якщо алгоритм керування буде значно простішим.

Узагальнюючи сучасні джерела, можна зазначити, що перспективний ДБЖ для мережевого обладнання має поєднувати кілька груп властивостей. Перша група пов'язана з базовою електричною функціональністю: підтриманням потрібної вихідної напруги, достатнім струмом навантаження, захистом від короткого замикання, перевантаження, перенапруги та глибокого розряду. Друга група стосується енергоефективності: мінімізації втрат на перетворення, оптимального вибору напруги акумулятора, доцільного режиму заряджання та можливого відключення другорядного навантаження. Третя група охоплює моніторинг: індикацію стану живлення, рівня заряду, аварійних режимів і, за потреби, передавання параметрів на віддалений інтерфейс. Четверта група

пов'язана з експлуатаційною придатністю: компактністю, безпечним корпусом, простотою підключення, доступністю компонентів і можливістю обслуговування.

Отже, огляд літератури підтверджує, що розроблення безперебійного блока живлення для мережевого обладнання є актуальним завданням на перетині комп'ютерної інженерії, електроніки, енергетичної безпеки та телекомунікацій. На відміну від універсальних побутових UPS, такий пристрій має бути адаптований до конкретного типу навантаження, насамперед до малопотужних низьковольтних пристроїв зв'язку. Це створює можливість спростити конструкцію, підвищити ККД, збільшити автономність і забезпечити стабільнішу роботу мережевої інфраструктури під час короткочасних і тривалих відключень електроенергії.

РОЗДІЛ 2

АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО БЛОКА ЖИВЛЕННЯ

Апаратна реалізація безперебійного блока живлення для мережевого обладнання потребує добору електронних компонентів, здатних забезпечити автономне живлення пристроїв зв'язку, стабілізацію вихідної напруги, коректне заряджання акумуляторної збірки та захист системи від аварійних режимів. На відміну від класичних ДБЖ, орієнтованих на живлення комп'ютерної або серверної техніки змінною напругою 220 В, розроблюваний пристрій призначений для малопотужного мережевого обладнання – роутерів, модемів, ONU-терміналів, невеликих комутаторів і точок доступу. Такі споживачі зазвичай працюють від постійної напруги 5 В, 9 В або 12 В, тому використання низьковольтної системи постійного струму є більш раціональним з погляду енергоефективності, компактності та тривалості автономної роботи.

Доцільність обраного підходу зумовлена тим, що основним завданням такого блока живлення є не універсальне резервування різноманітного електрообладнання, а підтримання безперервної роботи мережевого вузла під час перебоїв електропостачання. У цьому випадку важливими є стабільність вихідної напруги, мінімальні втрати під час перетворення енергії, захист акумуляторів і здатність пристрою швидко переходити до автономного режиму. Для оцінювання надійності ДБЖ необхідно враховувати не лише номінальну ємність батареї, а й фактичний час автономної роботи, температуру елементів, струм навантаження, середню споживану потужність та стабільність напруги живлення.

2.1 Вибір акумуляторних елементів для проєкту

Акумулятори (вторинні гальванічні елементи) – це електрохімічні джерела струму, які можна багаторазово заряджати. Принцип їх роботи базується на оборотних хімічних реакціях, що дозволяють накопичувати енергію (заряд) та

віддавати її (розряд).

Основні параметри:

- номінальна напруга – середня робоча напруга одного елемента під час розряду;

- ємність ($\text{mA} \cdot \text{год} / \text{A} \cdot \text{год}$) – показує скільки заряду акумулятор може віддати. Залежить від температури, струму навантаження та зносу;

- енергетична ємність (Wh) – фізична величина, яка визначає загальну кількість електричної енергії, яку акумулятор може накопичити та віддати під час розряду. Енергетична ємність враховує не лише кількість заряду (Ah), а й напругу акумулятора, тому є більш точним показником, ніж просто ємність;

- кількість циклів – характеристика акумулятора, яка визначає кількість повних циклів (заряд $\rightarrow$ розряд $\rightarrow$ заряд), які акумулятор може витримати до того моменту, коли його ємність зменшиться до певного рівня (70-80 % від номінальної);

- струм розряду – нормальний робочий струм (номінальний) та короткочасний (піковий);

- енергетична щільність (Wh/kg або Wh/L) – характеристика, яка визначає кількість енергії, що припадає на одиницю маси або об'єму акумулятора, тобто наскільки «компактно» зберігається енергія.

- саморозряд – втрата заряду без навантаження;

- безпека – включає стабільність хімії, ризик займання та потребу в BMS.

Основні типи акумуляторів:

1) нікель-кадмієві (NiCd) – мають номінальну напругу 1,2 В та 500-1000 циклів. Витримують великі струми, працюють при низьких температурах (-20°C і нижче), довговічні при правильній експлуатації та стійкі до перевантажень. Однак мають ефект пам'яті (втрата ємності при неповних циклах), токсичний кадмій (екологічна проблема), низьку енергетичну щільність та високий саморозряд;

2) нікель-металогідридні (NiMH) – мають номінальну напругу 1,2 В, 500-1000 циклів. Мають більшу ємність, ніж у NiCd, менший ефект пам'яті,

екологічніші та більш доступні. Проте мають високий саморозряд (особливо старі моделі), гірше працюють на морозі, мають менші струми віддачі, ніж NiCd;

3) літій-іонні (Li-ion) – номінальна напруга 3,6-3,7 В та 300-1000 циклів. Мають високу енергетичну щільність, легкі, відсутній ефект пам'яті, низький саморозряд. Однак такі акумулятори чутливі до перезаряду, глибокого розряду, потребують BMS (захисту), мають ризик займання при пошкодженні, дорожчі;

4) літій-полімерні (LiPo) – номінальна напруга 3,7 В, 300-800 циклів. Можуть бути будь-якої форми і розмірів, дуже легкі, можуть віддавати великі струми (high discharge), компактні. Дуже чутливі до механічних пошкоджень, мають ризик здуття, потребують точного контролю, мають менший ресурс;

5) свинцево-кислотні (Lead-Acid) – номінальна напруга 2 В (елемент), 12 В батарея, 200-500 циклів (звичайні), до 2000 (гелеві). Такі акумулятори дешеві, витримують великі струми, надійні, прості в експлуатації. Однак вони дуже важкі, мають низьку енергетичну щільність, обмежений ресурс, не люблять глибокий розряд;

6) літій-залізо-фосфатні (LiFePO₄) – номінальна напруга 3,2-3,3 В, 2000-7000 циклів. Мають дуже довгий ресурс, високий рівень безпеки, стабільну напругу, витримують великі струми. Проте мають нижчу енергетичну щільність (у порівнянні з Li-ion та LiPo), високу ціну, погано працюють на сильному морозі. Також для послідовного під'єднання таких батарей потрібні спеціальні BMS-контролери, які є також доволі дорогими.

У таблиці 2.1 наведено порівняльну характеристику акумуляторів.

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця різних видів акумуляторів

Тип	Напруга	Цикли	Енергетична щільність	Струм	Безпека	Вага
NiCd	1,2 В	500-1000	низька	високий (20 С)	середня	середня
NiMH	1,2 В	500-1000	середня	середній (5 С)	добра	середня
Li-ion	3,7 В	300-1000	висока	високий (10 С)	середня	низька
LiPo	3,7 В	300-800	висока	дуже високий (100 С)	низька	дуже низька
Lead-acid	2 В	200-2000	дуже низька	високий (10 С)	висока	дуже висока
LiFePO ₄	3,2 В	2000-7000	середня	високий (10 С)	дуже висока	середня

Враховуючи всі особливості та переваги і недоліки представлених вище акумуляторів, для проєкту було вирішено використовувати літій-іонні акумулятори. Вони забезпечують достатній для визначених потреб струм розряду, мають велику кількість циклів заряду-розряду, достатньо безпечні та відносно дешеві [8].

Найбільш популярним форматом літій-іонних акумуляторів є 18650 (діаметр 18 мм, довжина 65 мм, циліндричної форми), з максимальною ємністю 3500 mAh [9].

2.2 Підбір компонентної бази

Основним джерелом енергії в автономному режимі є акумуляторна збірка. Для цього проєкту обрано послідовне з'єднання двох літій-іонних акумуляторів формату 18650. Така конфігурація відповідає схемі 2S, тобто дві комірки з'єднуються послідовно. У результаті номінальна напруга збірки становить приблизно 7,2-7,4 В, а максимальна напруга повністю зарядженої збірки досягає 8,4 В. Застосування послідовної схеми є доцільним, оскільки вища робоча напруга дає змогу зменшити струм у силових колах, знизити втрати на провідниках і підвищити ефективність подальшого пониження напруги до стабільних 5 В [10].

Для захисту акумуляторної збірки передбачено використання контролера (плата захисту) BMS 2S 20A (рис. 2.1). Його призначення полягає не в заряджанні акумуляторів, а в контролі їхнього безпечного режиму роботи. Плата BMS виконує захист від перезаряду, перерозряду, перевантаження за струмом і короткого замикання. Крім цього, вона контролює напругу кожної комірки окремо та забезпечує вирівнювання напруги між послідовно з'єднаними елементами. Для літій-іонних акумуляторів така функція є принципово важливою, оскільки навіть незначне розходження напруги між комірками під час заряджання або розряджання може призвести до прискореної деградації батареї, втрати ємності або аварійного режиму.

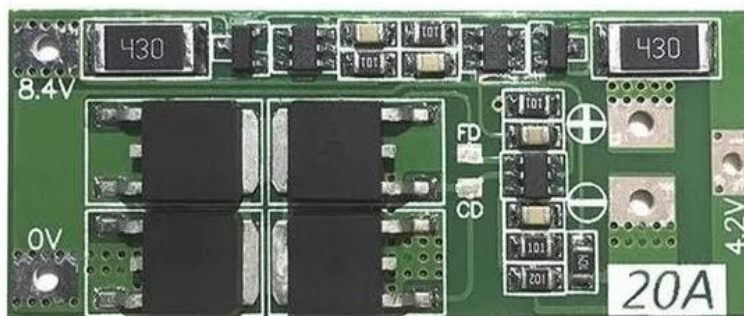


Рисунок 2.1 – Контролер BMS 2S 20A [10]

Основні функції контролера BMS 2S подано в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Основні функції контролера BMS 2S

№	Функція	Опис призначення
1	Захист від перезаряду	Вимикає заряджання при досягненні напруги приблизно 4,2-4,25 В на один елемент, що запобігає перегріву та деградації акумулятора.
2	Захист від перерозряду	Відключає навантаження при зниженні напруги приблизно до 2,5 В на один елемент, що захищає батарею від виходу з ладу.
3	Захист від перевантаження за струмом	Вимикає вихід у разі перевищення допустимого струму, зокрема понад 20 А, що запобігає перегріву та пошкодженню елементів схеми.
4	Захист від короткого замикання	Забезпечує миттєве відключення виходу при виникненні короткого замикання.
5	Контроль кожної комірки батареї	Дає змогу вимірювати напругу кожного акумулятора окремо, що необхідно для безпечної роботи послідовної збірки.
6	Балансування елементів	Вирівнює напругу між акумуляторними елементами та запобігає ситуації, коли одна комірка заряджена більше або менше за іншу.

Отже, контролер BMS 2S виконує не лише функцію захисту акумуляторної збірки, а й забезпечує контроль стану окремих елементів, що є важливим для безпечної та стабільної роботи безперебійного блока живлення.

Для заряджання акумуляторної збірки обрано підвищуючий зарядний модуль 2S (рис. 2.2). Його призначення полягає у перетворенні вхідної напруги 5 В, отриманої від USB Type-C адаптера або іншого джерела живлення, у напругу 8,4 В, необхідну для заряджання двох послідовно з'єднаних літій-іонних елементів. У технічному описі такого модуля зазначається, що він має вхід USB Type-C і забезпечує стабільний вихід 8,4 В для заряджання 2-cell Li-ion

аккумуляторних збірок [11]. Це робить його зручним для використання в компактному ДБЖ, оскільки для заряджання можна застосовувати поширені зарядні пристрої від смартфонів або павербанки.

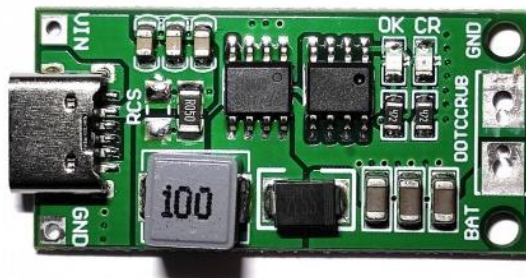


Рисунок 2.2 – Підвищуючий зарядний модуль [11]

Електричні параметри: вхідна напруга – 5 В, вихідна напруга – 8,4 В, струм заряджання – 2 А, ККД – 85-90 %, тип батареї – Li-ion/Li-Po, захист – частковий.

Основні функції підвищуючого зарядного модуля 2S подано в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Основні функції підвищуючого зарядного модуля 2S

№	Функція	Опис призначення
1	Підвищення напруги Boost DC-DC	Перетворює вхідну напругу 5 В у напругу 8,4 В, що дає змогу заряджати акумуляторну збірку 2S від зарядного пристрою телефона, USB-адаптера або павербанка.
2	Заряджання за алгоритмом CC/CV	Реалізує класичний режим заряджання Li-ion акумуляторів: на етапі CC заряд відбувається фіксованим струмом, а на етапі CV напруга стабілізується близько 8,4 В, після чого зарядний струм поступово зменшується.
3	Обмеження струму заряджання	Зарядний струм задається шунтом і в цьому випадку становить 2 А, що дає змогу контролювати швидкість заряджання та зменшувати ризик перевантаження.
4	Універсальний вхід USB Type-C	Забезпечує зручне підключення модуля до поширених джерел живлення з вихідною напругою 5 В.
5	Автоматичне завершення заряджання	При зниженні зарядного струму приблизно до 0,1 С заряджання припиняється, що зменшує ризик перезаряду акумуляторної збірки.
6	Вбудована стабілізація напруги	Підтримує стабільну вихідну напругу 8,4 В навіть за незначного просідання напруги USB-живлення в допустимих межах.

Вибір саме підвищуючого зарядного модуля 2S пояснюється тим, що звичайна USB-напруга 5 В є недостатньою для повного заряджання акумуляторної збірки 2S. Для досягнення граничної напруги 8,4 В необхідне підвищення напруги, а також дотримання коректного режиму заряджання літій-

іонних акумуляторів. Такий модуль дозволяє поєднати доступність джерела живлення 5 В із можливістю заряджання послідовної батарейної збірки. У поєднанні з BMS він формує безпечний вузол накопичення енергії, у якому зарядний модуль відповідає за формування потрібної напруги заряджання, а BMS – за захист окремих акумуляторних комірок.

Для формування стабільної напруги 5 В у пристрої обрано модуль пониження напруги на базі XL4015 (рис. 2.3). Цей елемент є понижуючим DC-DC перетворювачем, який дає змогу з напруги акумуляторної збірки 2S отримати стабілізовану вихідну напругу 5 В. Згідно з описом модуля XL4015, він працює як buck converter із можливістю регулювання вихідної напруги та струму, має вхідний діапазон близько 8-35 В і вихідний діапазон 1,25-32 В, а також підтримує режим стабілізації струму до 5 А [12]. Це дозволяє використовувати його як основний стабілізатор внутрішньої шини живлення в пристрої.

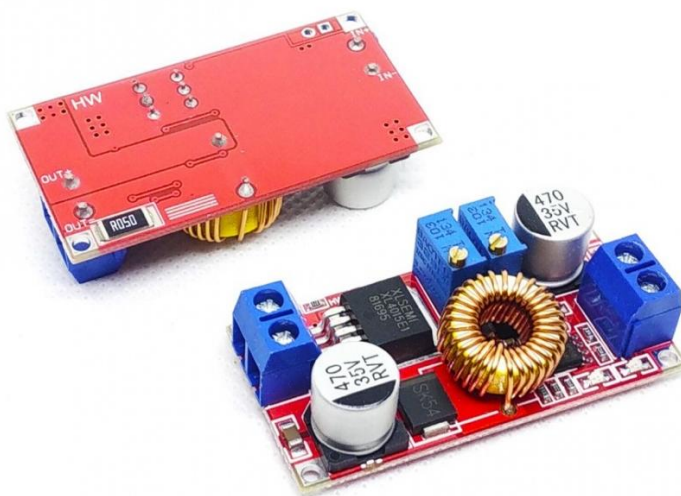


Рисунок 2.3 – Модуль пониження напруги на базі XL4015 [12]

Основні функції модуля:

- 1) пониження напруги з функцією стабілізації;
- 2) високий вихідний струм (до 5 А, 3-4 А без сильного нагріву);
- 3) регулювання вихідної напруги;
- 4) обмеження вихідного струму;
- 5) може працювати як зарядний модуль для Li-ion, LED драйвер;

- 6) високий ККД (до 96 %);
- 7) вбудовані захисти: від перегріву, від короткого замикання;
- 8) ШІМ-регулювання (частота: ~ 180 кГц).

Основні характеристики: тип – понижуючий, вхідна напруга – 4-38 В, вихідна напруга – 1,25-32 В; струм – до 5 А, потужність – до ~ 75 Вт, ККД – до 96 %; режими – CC-CV.

Технічна доцільність використання XL4015 зумовлена тим, що при послідовному з'єднанні двох акумуляторів напруга батареї є вищою за 5 В протягом більшої частини циклу розряду. Тому пониження напруги є енергетично ефективнішим рішенням, ніж використання однієї комірки з подальшим підвищенням напруги до 5 В. Перетворювачі на базі XL4015 описуються як 180 кГц PWM buck DC-DC converter, здатні забезпечувати струм до 5 А з високою ефективністю, низьким рівнем пульсацій і стабільним регулюванням за зміни вхідної напруги та навантаження [13]. Для безперебійного блока живлення це важливо, оскільки мережеве обладнання потребує стабільної напруги без різких провалів, які можуть спричинити перезавантаження пристрою.

Понижуючий перетворювач XL4015 у структурі пристрою виконує роль основного енергетичного вузла після акумуляторної збірки. Він формує стабілізовану лінію 5 В, яка може використовуватися як для безпосереднього живлення частини обладнання, так і для живлення підвищуючих перетворювачів. Крім цього, наявність регулювання вихідного струму є корисною з погляду захисту навантаження та обмеження аварійних режимів. При тривалій роботі з великими струмами цей модуль потребує врахування теплового режиму, однак для типових мережевих пристроїв його параметри мають достатній запас.

Для формування напруги 9 В або 12 В обрано підвищуючий перетворювач MT3608 (рис. 2.4). Саме ці значення напруги часто використовуються для живлення роутерів, оптичних терміналів і невеликих мережевих пристроїв. У технічному описі модуля MT3608 зазначається, що він є step-up перетворювачем

із вхідною напругою 2-24 В, регульованою вихідною напругою до 28 В, максимальним струмом до 2 А та коефіцієнтом корисної дії до 93 % [14]. Це робить його придатним для малопотужного мережевого обладнання, де потрібно отримати стабільну напругу, вищу за напругу внутрішньої шини 5 В.

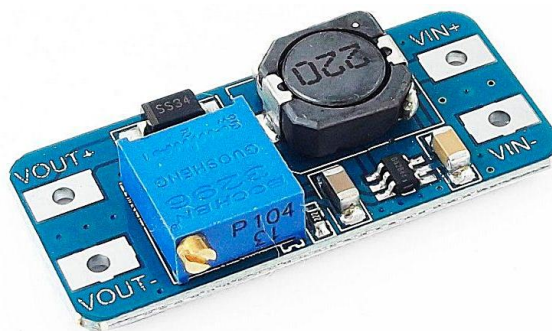


Рисунок 2.4 – Підвищуючий перетворювач MT3608 [14]

Основні можливості:

- 1) підвищення напруги – головна функція модуля;
- 2) регульований вихід – має потенціометр (багатооборотний), що дозволяє точно виставити напругу;
- 3) вихідний струм до 2 А (максимальний);
- 4) висока ефективність (ККД до 90-93 %);
- 5) майже не гріється при нормальному режимі;
- 6) висока частота роботи (~1,2 МГц);
- 7) автоматичний режим PFM – при малому навантаженні переходить у економний режим;
- 8) вбудовані захисти: обмеження струму, захист від перегріву, захист від перенапруги.

Основні характеристики: тип – Boost (підвищуючий), вхідна напруга – 2-24 В, вихідна напруга (регульована) – 5-28 В, максимальний струм – до 2 А, стабільний струм – 1-1,5 А, ККД – до 93 %; частота – ~1.2 МГц, розмір – 36×17 мм.

Застосування MT3608 є доцільним через його компактність, доступність і здатність працювати з малими навантаженнями. У технічній специфікації

мікросхеми MT3608 зазначено, що це високоефективний 1,2 МГц 2 А підвищуючий перетворювач, призначений для малопотужних застосувань, зокрема для обладнання з живленням від акумуляторів, DSL- і кабельні модеми, маршрутизатори та мережеві плати [15]. Сам факт наявності у переліку застосувань модемів, роутерів і мережевого обладнання підтверджує відповідність цього компонента тематиці роботи.

У складі безперебійного блока живлення MT3608 доцільно використовувати як окремий вихідний перетворювач для пристроїв, що потребують 9 В або 12 В. Регулювання вихідної напруги потенціометром дозволяє адаптувати модуль до конкретного споживача. За потреби можна реалізувати перемикання між 9 В і 12 В за допомогою додаткового резистора або перемикача, однак у такому випадку обов'язково потрібно передбачити маркування режимів, щоб уникнути подавання неправильної напруги на мережеве обладнання.

Для реалізації системи, яка відключатиме живлення від акумуляторів за наявності живлення в мережі, будуть використовуватися N-канальні MOSFET-транзистори IRF3205 як одні з найпоширеніших силових MOSFET-транзисторів із логічним керуванням. У технічному описі зазначено, що це N-channel MOSFET з максимальною напругою між стоком і витком (V_{ds}) 55 В, максимальний струм (I_d) до 50 А низьким опором відкритого каналу близько 8 мОм [16]. Низький опір відкритого каналу є важливим, оскільки він зменшує втрати енергії та нагрів під час проходження струму через силовий ключ. Корпус TO-220 зручний для монтажу та за потреби дозволяє встановити радіатор.

Вибір MOSFET-ключів замість електромеханічного реле має кілька переваг. По-перше, відсутність рухомих контактів підвищує ресурс перемикання. По-друге, електронний ключ може працювати швидше, що важливо для безперебійного живлення мережевого обладнання. По-третє, MOSFET з низьким $R_{DS(on)}$ має малі втрати у відкритому стані. У розроблюваному пристрої IRF3205 може використовуватися для розмикання або підключення акумуляторної лінії залежно від наявності зовнішнього живлення.

Така логіка дозволяє зменшити неконтрольований розряд акумуляторів і забезпечити автоматичний перехід у резервний режим.

Отже, вибір зазначених компонентів є взаємопов'язаним і технічно обґрунтованим. BMS 2S 20A забезпечує захист акумуляторної збірки, підвищуючий зарядний модуль 2S дозволяє заряджати два послідовно з'єднані Li-ion елементи від джерела 5 В, XL4015 формує стабільну базову напругу 5 В, MT3608 створює вихідні напруги 9 В або 12 В для мережевого обладнання, а MOSFET IRF3205 забезпечує електронну комутацію режимів живлення. Разом ці елементи формують компактну, доступну та функціонально завершену апаратну основу безперебійного блока живлення для мережевого обладнання.

2.3 Підключення компонентів

Для реалізації готового пристрою необхідно правильно з'єднати всі електронні компоненти між собою відповідно до обраної схеми. Саме від коректності цих з'єднань залежить узгоджена робота окремих елементів і функціонування системи в цілому. Процес формування робочої схеми передбачає врахування електричних параметрів, особливостей взаємодії компонентів та вимог до надійності, що забезпечує стабільну та безпечну роботу пристрою.

В першу чергу потрібно під'єднати акумулятори та контролер BMS (рис. 2.5). Для джерела безперебійного живлення буде використовуватися послідовне під'єднання акумуляторної збірки. Це забезпечить ряд переваг: менший робочий струм і як результат менше нагріву і втрат, менше навантаження на провідники, менше просідання напруги та стабільніша робота. Крім того для отримання стабільних 5 В на виході буде використовуватися понижуючий перетворювач, що є більш ефективніше ніж підвищення напруги та буде забезпечувати вищий ККД.

Негативний контакт першого акумулятора під'єднується до контакту 0 В модуля BMS, позитивний контакт другого акумулятора під'єднується до

контакту 8,4 В модуля, позитивний контакт першого акумулятора з'єднується з негативним контактом другого акумулятора та контактом 4,2 В модуля.

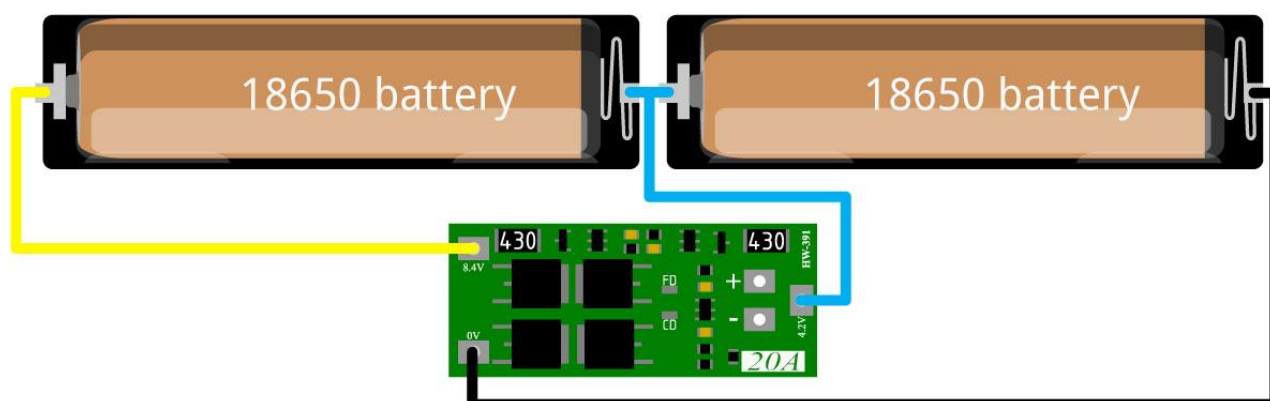


Рисунок 2.5 – Схема з'єднання акумуляторів та контролера BMS

Зарядний модуль підключається до контролера заряду BMS через контакти (+) – BAT та (–) – GND відповідно (рис. 2.6). Напряму до акумуляторів підключати плату заряджання категорично заборонено, оскільки це може призвести до їх виходу з ладу за рахунок перезаряду або перерозряду однієї з батарей.

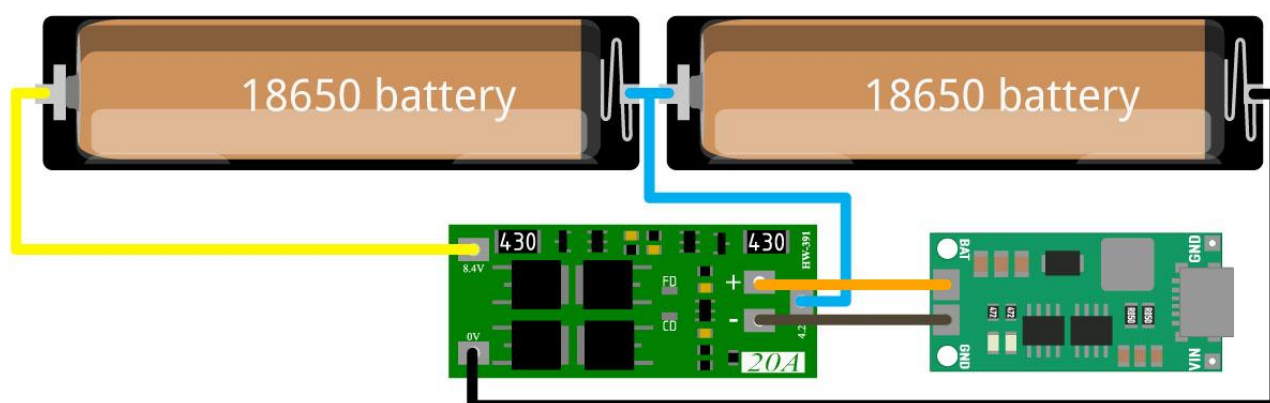


Рисунок 2.6 – Схема з'єднання зарядного модуля до контролера заряду BMS

Для можливості заряджання не тільки через USB Type-C порт, а і від інших джерел живлення, до плати зарядки підключається універсальний роз'єм живлення 5,5x2,1 відповідно до контактів VIN та GND (рис. 2.7).

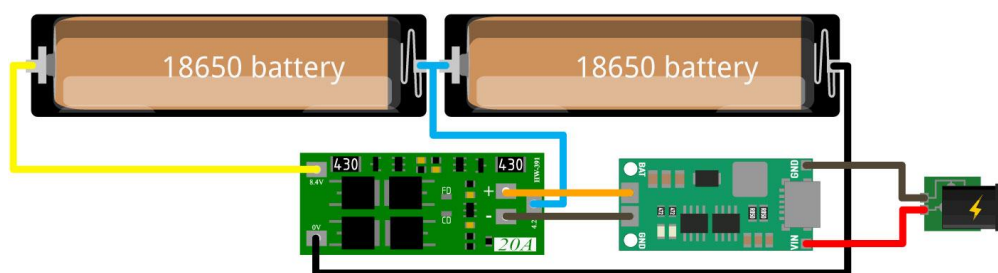


Рисунок 2.7 – Схема приєднання універсального роз'єму

Для реалізації системи перемикавання між мережею та акумуляторами будуть використані два N-канальних MOSFET-транзистора. Перший MOSFET буде переривати керуючу Землю на другому MOSFET при наявності живлення на вході зарядної плати, тобто буде розмикати електричне коло від акумуляторів. Затвор (Gate) першого транзистора підключається до входу VIN через резистор номіналом 100 Ом та до GND через резистор 10 кОм, витік (Source) підключається напряму до GND, а стік (Drain) до затвору другого транзистора. Витік другого транзистора з'єднаний з витоком першого (та контактом GND), а контакт BAT (+) з виходу зарядної плати підключається до затвору другого MOSFET через резистор 1 кОм (рис. 2.8).

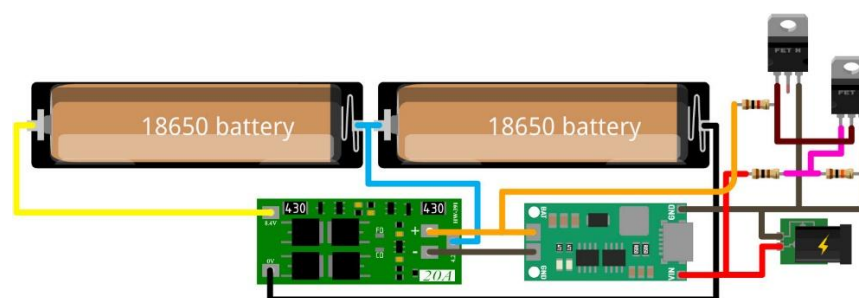


Рисунок 2.8 – Схема приєднання N-канальних MOSFET-транзисторів

Наступним елементом пристрою є модуль пониження напруги XL4015, необхідний для забезпечення стабільної напруги 5 В на виході від акумулятора. Вхід IN+ з'єднується з виходом батареї BAT через перемикач, що дозволить фізично розірвати подачу живлення з акумулятора, коли пристрій не буде використовуватися. Вхід IN– з'єднується зі стоком другого MOSFET, що забезпечить роз'єднання землі, коли пристрій працює від мережі (рис. 2.9).

Для отримання на виході напруги 9 В або 12 В буде використовуватися перемикач, що буде під'єднувати паралельно до потенціометра модуля МТ3608 резистор номіналом 10 кОм. Це дозволить швидко перемикати напругу без необхідності використання додаткових модулів (рис. 2.11).

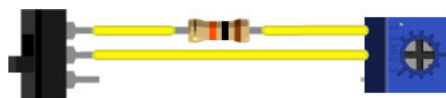


Рисунок 2.11 – Перемикач

РОЗДІЛ 3

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ОБ'ЄКТА ПРОЄКТУВАННЯ

3.1 Проєктування корпусу до пристрою

Для безпечного та більш зручного використання безперебійного джерела живлення для маршрутизатора, пристрій має бути не просто набором деталей, а мати компактний та функціональний корпус. Найбільш практичний та швидкий в наш час варіант реалізації можна виконати за допомогою технології 3D-друку, яка зараз є доволі доступною та недорогою.

Основною задачею на даному етапі є проєктування 3D-моделі з врахуванням основних розмірів компонентів, а також їх розміщення. Для цих цілей можна скористатися будь яким програмним забезпеченням з функцією твердотілого моделювання типу CAD (Computer Aided System – система автоматизованого проєктування). Наприклад, Autodesk Fusion, система, яка має доволі зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, є доволі простою в освоєнні, має широкий функціонал та безкоштовний варіант ліцензії для персонального використання.

Для початку потрібно створити або завантажити моделі комплектуючих, що дозволить більш точно спроектувати корпус. В пристрої буде використано 8 акумуляторів формату 18650, об'єднаних по чотири паралельно між собою в батареї та послідовно між батареями. Їх можна подати як циліндри розмірами 18 мм в діаметрі та 65 мм довжиною (рис. 3.1).

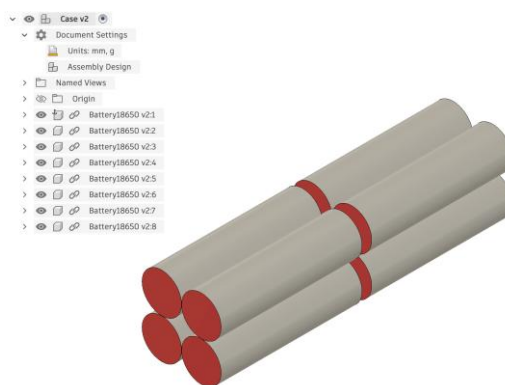


Рисунок 3.1 – Створення 3D-моделі акумуляторної збірки

До акумуляторів буде під'єднуватися плата захисту та балансування BMS 2S, модель якої було завантажено з Інтернету (рис. 3.2).

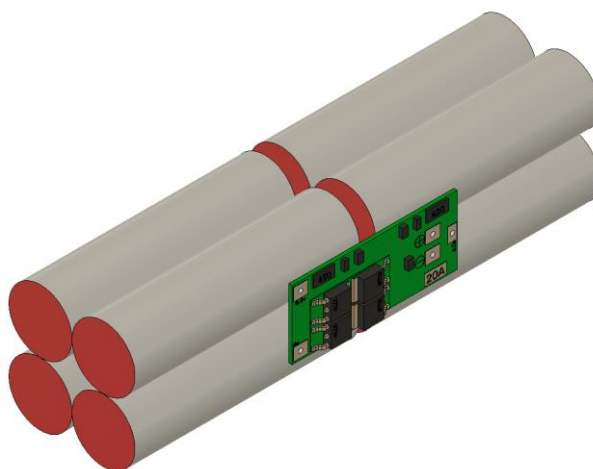


Рисунок 3.2 – Розміщення плати захисту BMS 2S на акумуляторній збірці

Для акумулятора з платою-контролером варто зробити окремий відсік (рис. 3.3). Це забезпечить пристрою додатковий рівень захисту від випадкового замикання з іншими компонентами (наприклад, у випадку пошкодження), що може спричинити загоряння елементів. Основа даного відсіку буде виступати нижньою частиною корпусу, тому потрібно задати для цієї частини більшу товщину (для надійності) – 3 мм. Три бокові стінки також будуть виступати зовнішніми частинами корпусу, тому для них потрібно також задати відповідну товщину.

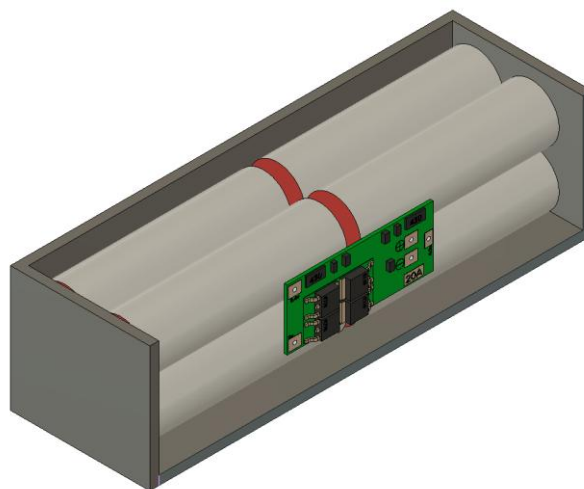


Рисунок 3.3 – Формування батарейного відсіку корпусу пристрою

Далі додається ще одна (тонша стінка, 2 мм), яка буде відділяти акумулятори від іншої електроніки. Для виведення проводів від плати захисту/балансування потрібно передбачити відповідний отвір (рис. 3.4).

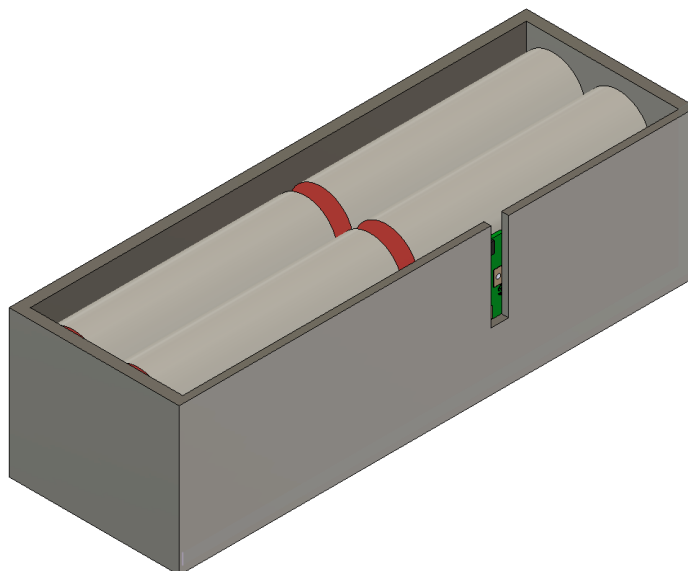


Рисунок 3.4 – Передбачення отвору для виведення проводів від плати BMS

Оскільки батарейний відсік пристрою буде закриватися також зверху, потрібно передбачити додаткові елементи, які будуть виступати в якості упорів для верхньої кришки (рис. 3.5).

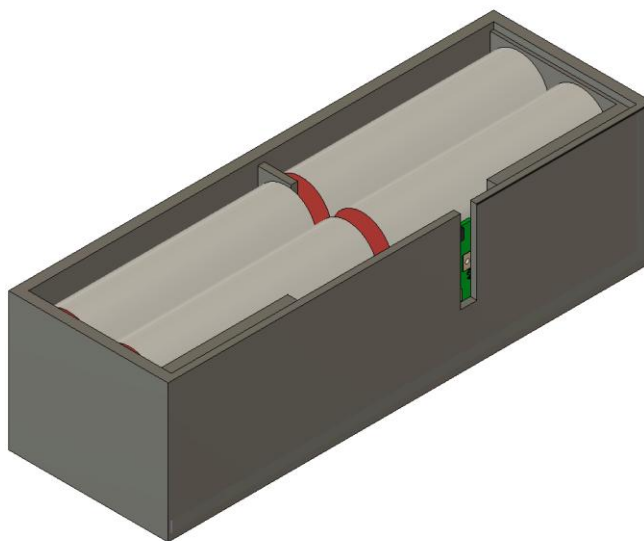


Рисунок 3.5 – Проектування упорів для верхньої кришки

Для створення кріплення під модуль пониження напруги, його модель потрібно розмістити на передбачене місце (в даному випадку, перед відсіком з акумуляторами).

Після цього можна задати остаточну ширину корпусу, використовуючи модуль як обмежуючий елемент (по габаритах) та додати кріплення – невеликі пази, в які цей модуль буде вставлятися (рис. 3.6).

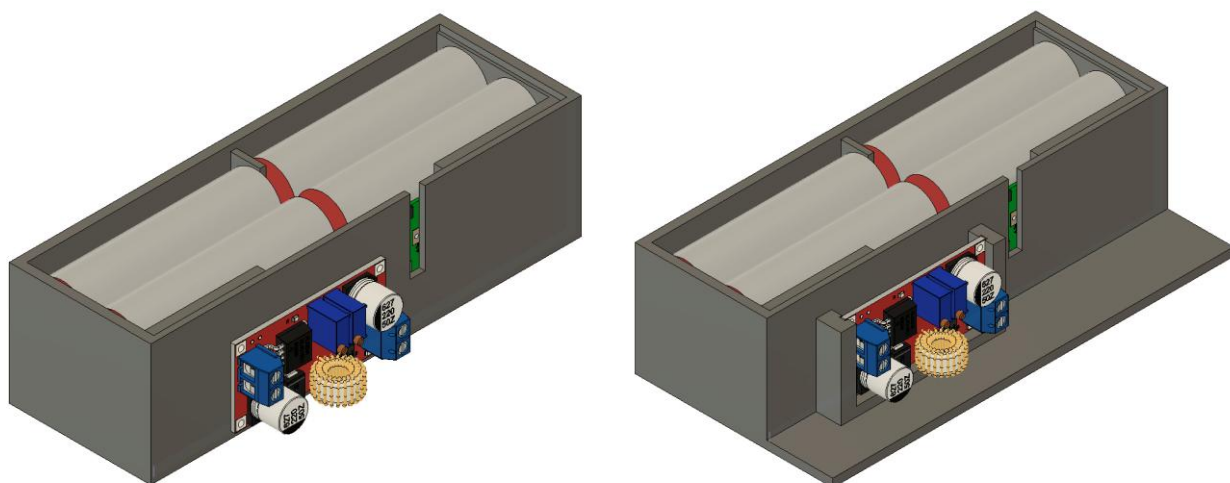


Рисунок 3.6 – Розміщення модуля та визначення габаритів корпусу

Наступним етапом є формування зовнішніх стінок корпусу, орієтуючись по вже сформованій раніше нижній частині. Товщина даних стінок також складатиме 3 мм (рис. 3.7).

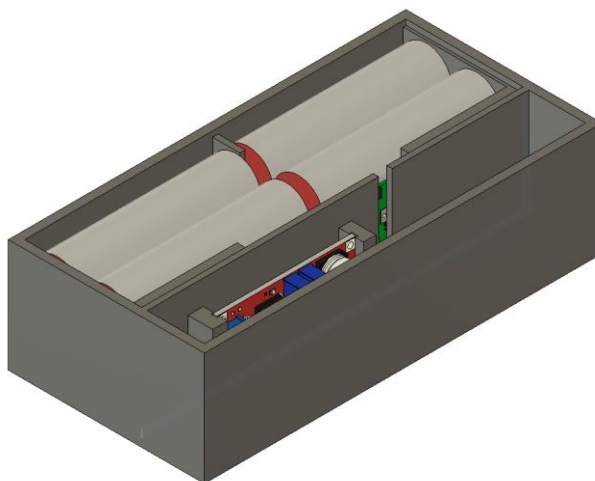


Рисунок 3.7 – Формування зовнішніх стінок корпусу

Далі формується верхня кришка (рис. 3.8), яка буде закривати батареї та слугуватиме основою для кріплення інших плат (модуль зарядки, підвищуючі модулі).

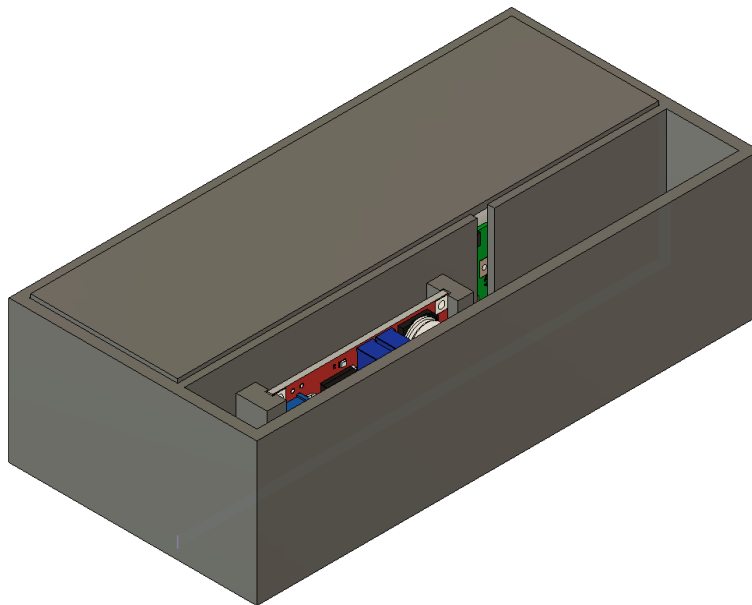


Рисунок 3.8 – Розміщення верхньої кришки як основи для монтажу електроніки

Для формування кріплення під плату зарядки, необхідно її розмістити в потрібне місце (рис. 3.9). Оскільки буде передбачатися варіант використання порта USB Type-C плати, модуль потрібно максимально близько до стінки корпусу.

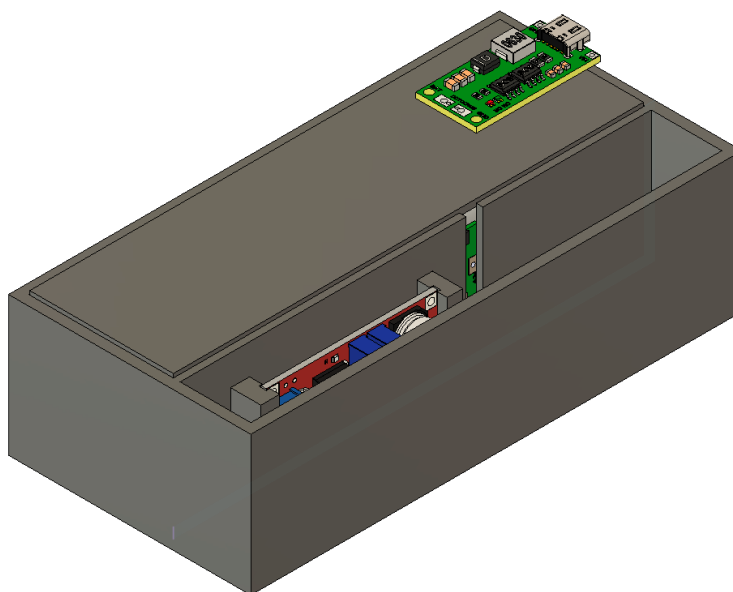


Рисунок 3.9 – Розташування плати на корпусі

Тепер моделюється кріплення під плату (рис. 3.10): в передній частині робиться невелика підставка на яку буде опиратися модуль, а ззаду буде передбачено отвори для кріплення плати за допомогою саморізів. Крім того вона буде додатково фіксуватися за рахунок роз'єму зарядки.

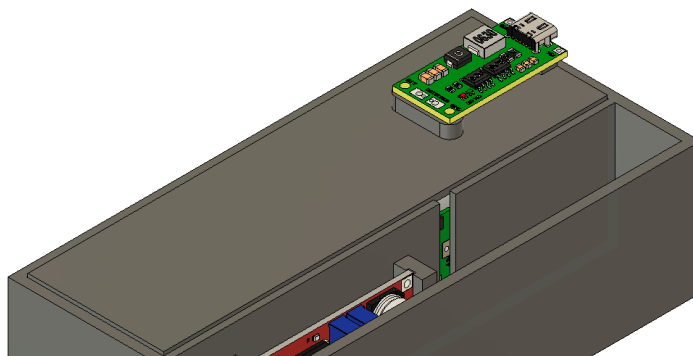


Рисунок 3.10 – Проектування кріплення під плату

Далі потрібно розмістити два підвищуючих модулі на базі MT3608 та змодельовати під них кріплення. В даному випадку вони просто будуть фіксуватися за рахунок щільного входження в пази кріплення (рис. 3.11).

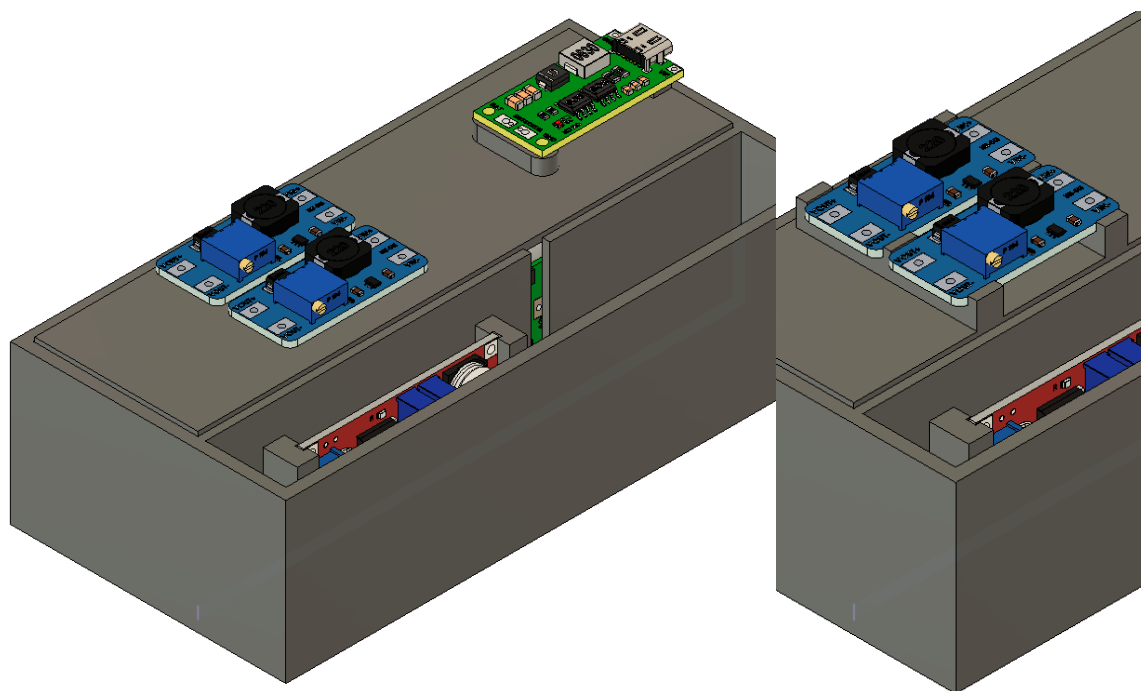


Рисунок 3.11 – Розташування підвищуючих модулів та моделювання кріплень

Після розміщення всіх основних плат та модулів можна сформувати остаточну висоту стінок корпусу, враховуючи також місце для розміщення роз'ємів вхідного та вихідного живлення (рис. 3.12).

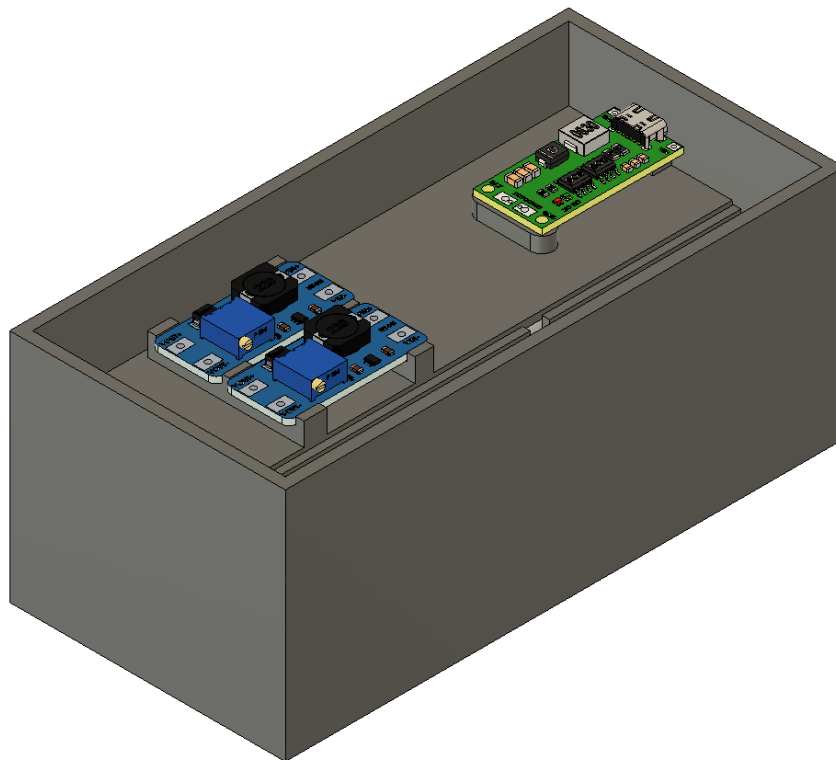


Рисунок 3.12 – Формування висоти стінок корпусу

Тепер можна створити отвір в корпусі для виводу USB Type-C роз'єму (рис. 3.13).

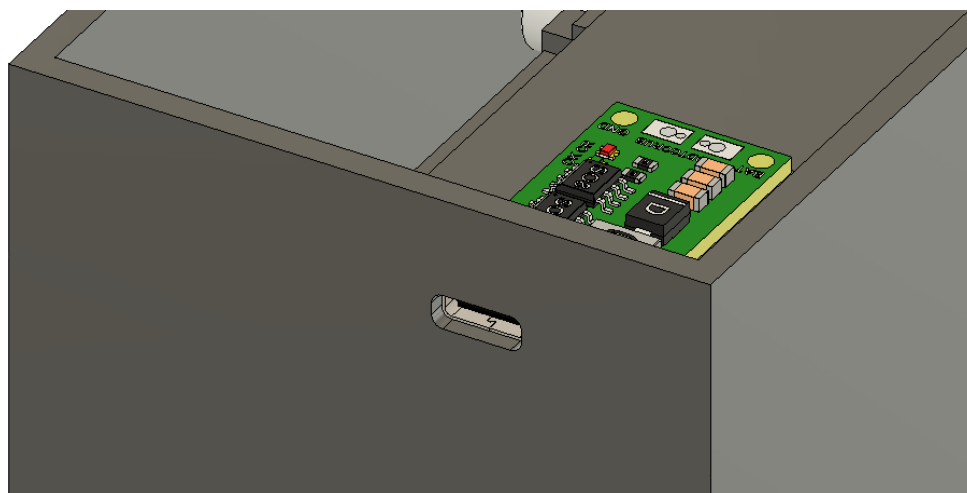


Рисунок 3.13 – Проектування отвору в корпусі для виводу USB Type-C роз'єму

Оскільки крім USB-порта для зарядки та живлення передбачено використання стандартного роз'єму DC 5,5x2,1, потрібно розмістити його модель у відповідне місце та зробити для нього отвір також (рис. 3.14).

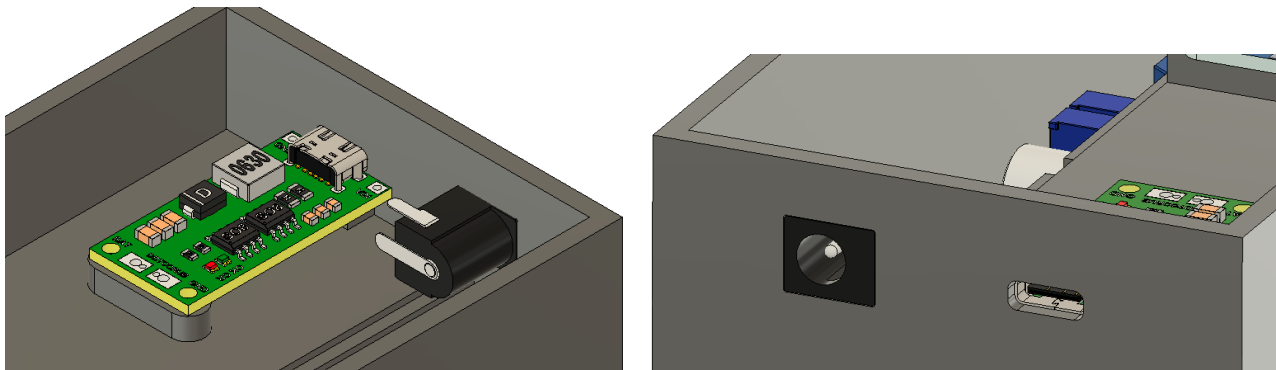


Рисунок 3.14 – Проєктування отвору для роз'єму DC 5.5x2.1

Крім цього, необхідно передбачити отвори для кріплення вихідних монтажних роз'ємів живлення, також формату DC 5,5x2,1 (рис. 3.15).

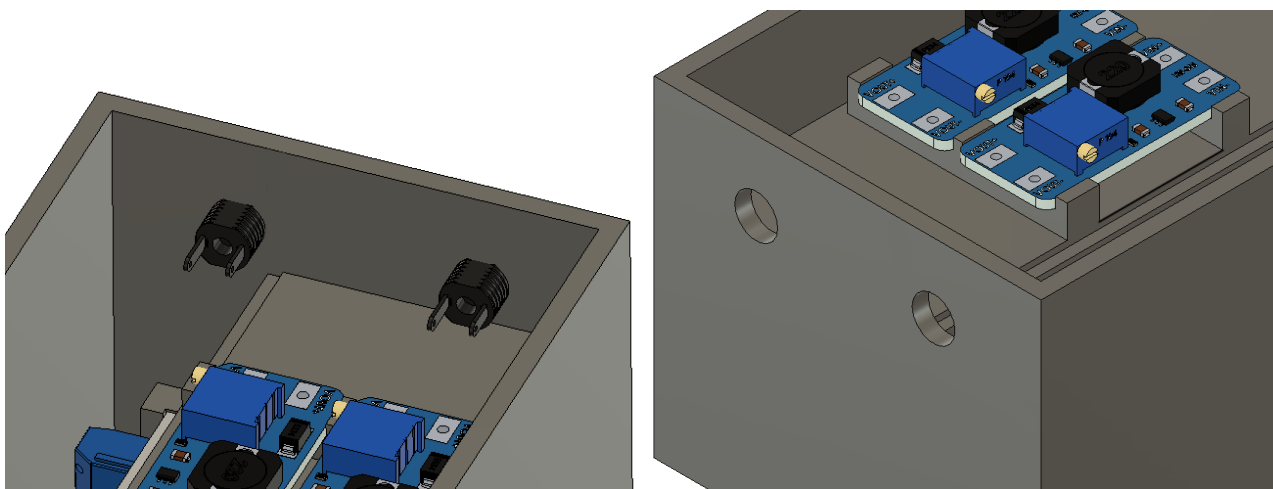


Рисунок 3.15 – Проєктування отворів для кріплення вихідних монтажних роз'ємів живлення

Додатково, зі сторони виходів живлення на маршрутизатор та інше обладнання варто зробити надпис «OUT», що буде слугувати підказкою для користувача. Також можна додати скруглення кутів корпусу як більш декоративний, а не функціональний елемент (рис. 3.16).

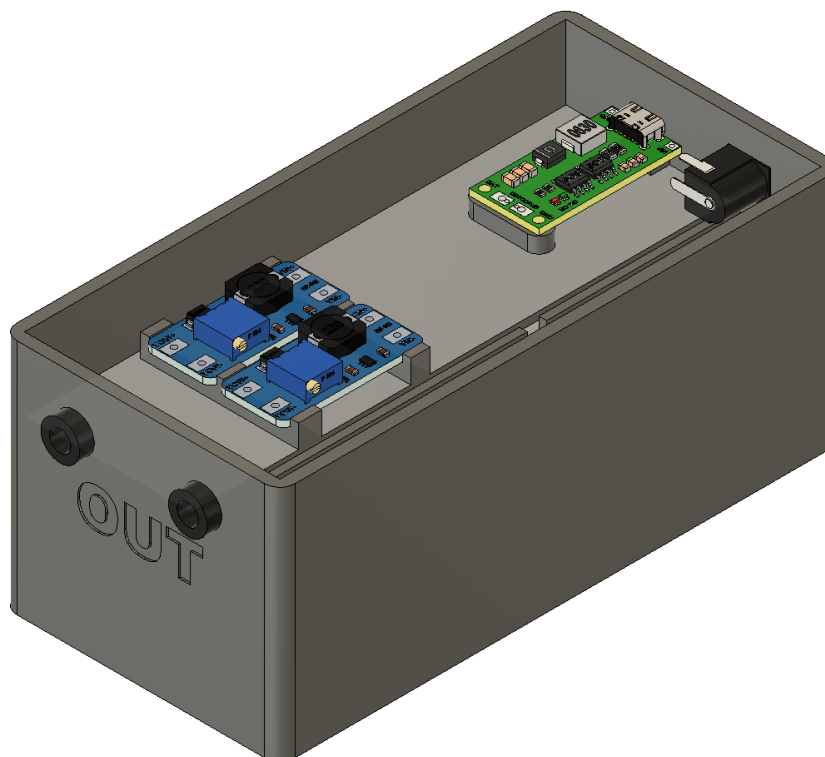


Рисунок 3.16 – Надпис «OUT»

Заключним етапом є моделювання кришки пристрою, яка має сховати всю електроніку всередині (рис. 3.17).

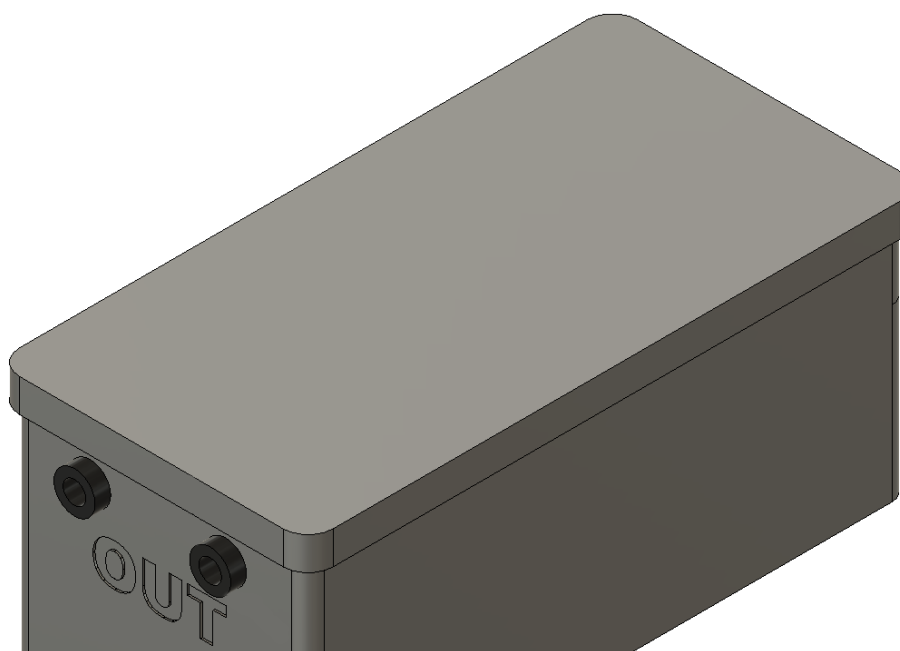


Рисунок 3.17 – Моделювання кришки пристрою

На кришці також потрібно передбачити отвори, в які будуть монтуватися перемикачі рівня вихідної напруги та кнопка вмикання пристрою з відповідними підписами до них (рис. 3.18).



Рисунок 3.18 – Розміщення перемикачів вихідної напруги та кнопки вмикання на кришці пристрою

3.2 Збирання пристрою

Монтаж компонентів пристрою буде здійснювати в раніше спроектований та виготовлений методом 3D-друку корпус.

В першу чергу потрібно сформувати акумуляторну збірку. Для цього потрібно з'єднати 4 акумулятори між собою плюсовою клемою, інші чотири – від'ємною (рис. 3.19).

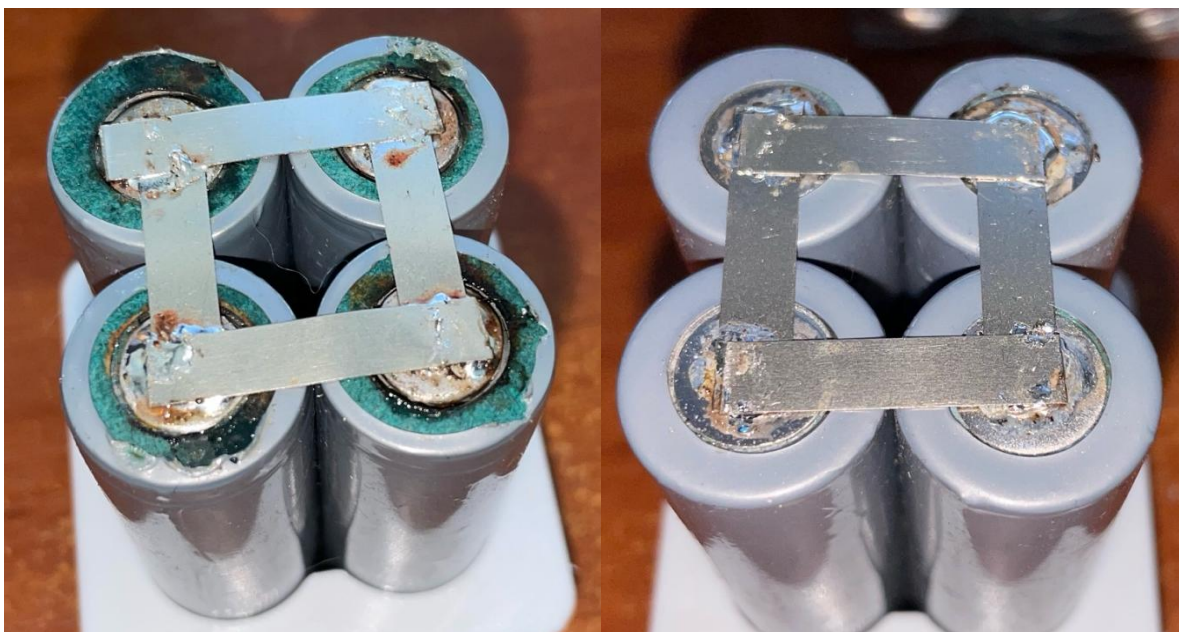


Рисунок 3.19 – Формування паралельних груп акумуляторів 18650

Після цього їх потрібно з'єднати між собою: плюсові клеми однієї групи до від'ємних клем іншої (рис. 3.20).



Рисунок 3.20 – З'єднання акумуляторних груп у послідовно-паралельну збірку

Далі до акумуляторної збірки необхідно приєднати BMS-плату захисту згідно описаної вище схеми (рис. 3.21).



Рисунок 3.21 – Підготовлена акумуляторна збірка перед підключенням плати захисту

До виходів плати BMS потрібно приєднати вивідні проводи і після цього акумулятори можна монтувати в корпус (рис. 3.22).

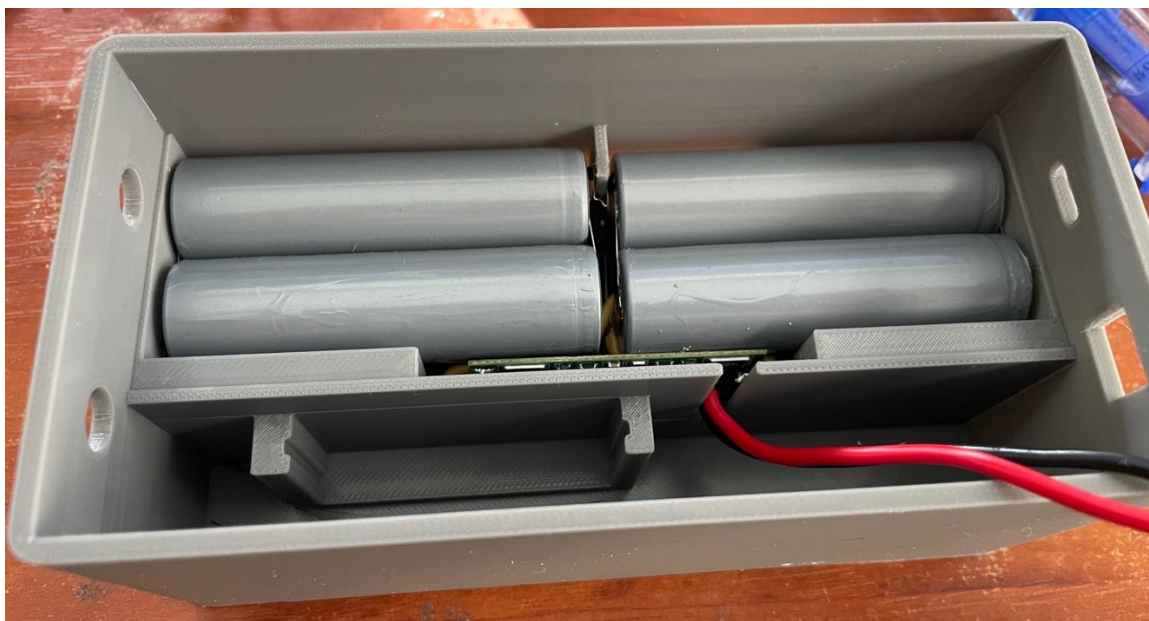


Рисунок 3.22 – Підключення BMS-плати до акумуляторної збірки

Відсік з акумуляторами закривається кришкою, яка також слугує для кріплення інших компонентів (рис. 3.23).

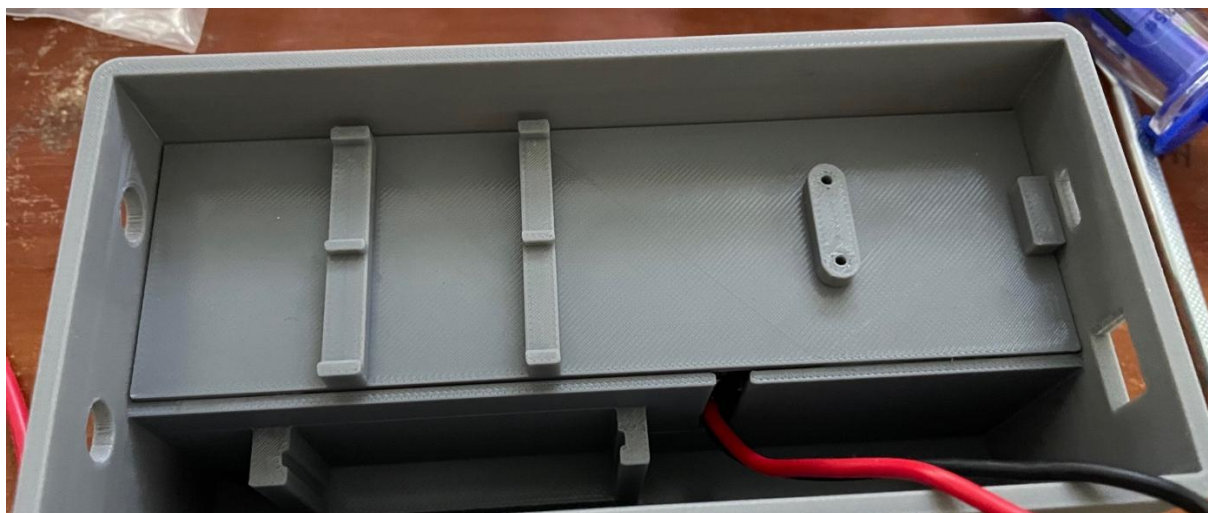


Рисунок 3.23 – Закриття акумуляторного відсіку внутрішньою кришкою

Зверху на кришку розміщується та фіксується плата зарядки. До неї підводяться виведені раніше контакти від плати BMS (рис. 3.24).

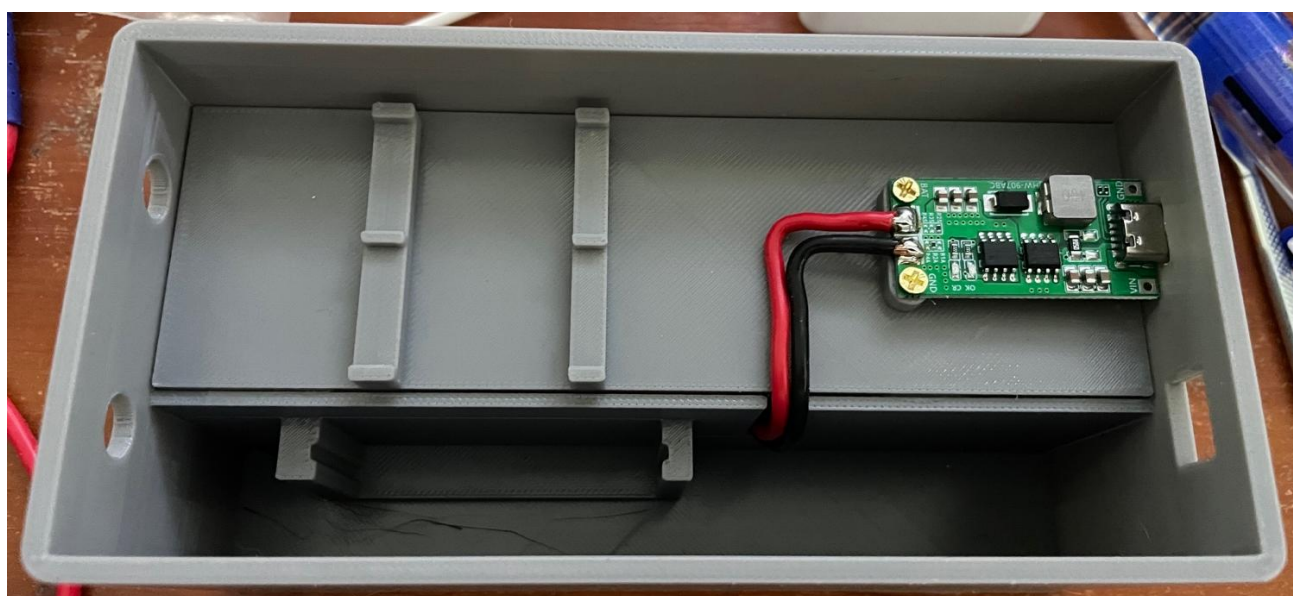


Рисунок 3.24 – Встановлення плати зарядки

Поряд з платою зарядки в корпус монтується універсальне гніздо живлення DC 5.5x2.1 та з'єднується з входними контактами плати (рис. 3.25).

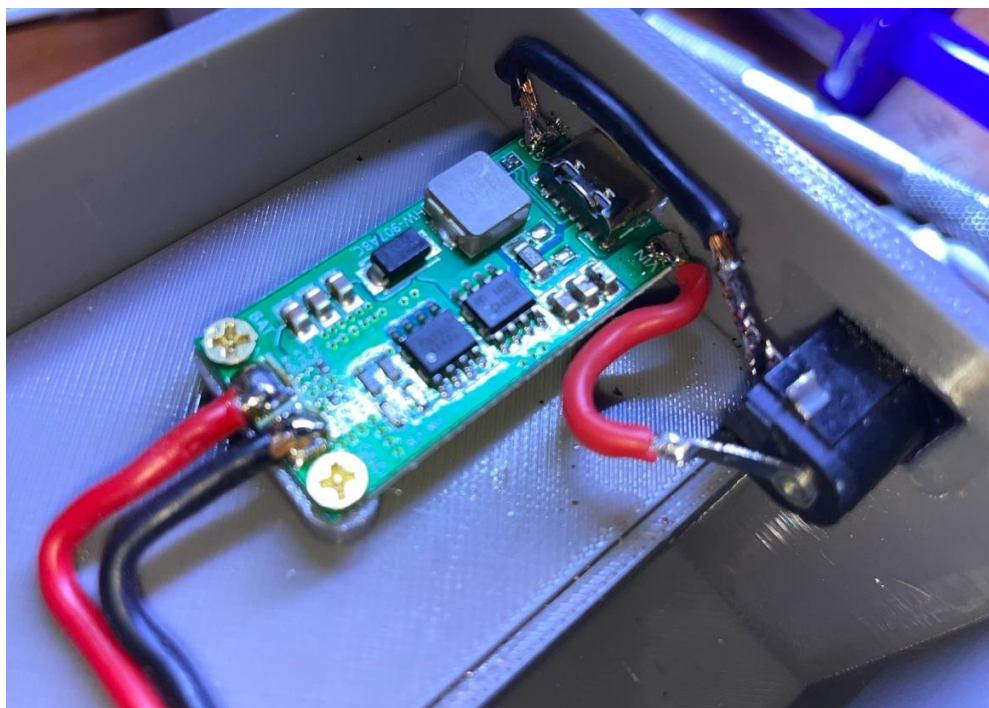


Рисунок 3.25 – Монтаж зарядного модуля на кришці акумуляторного відсіку

Далі робиться збірка на MOSFET-транзисторах, яка буде керувати вимкненням автономної частини пристрою, коли пристрій підключено до мережі. Схема системи вимкнення та її підключення було описана раніше (рис. 3.26).

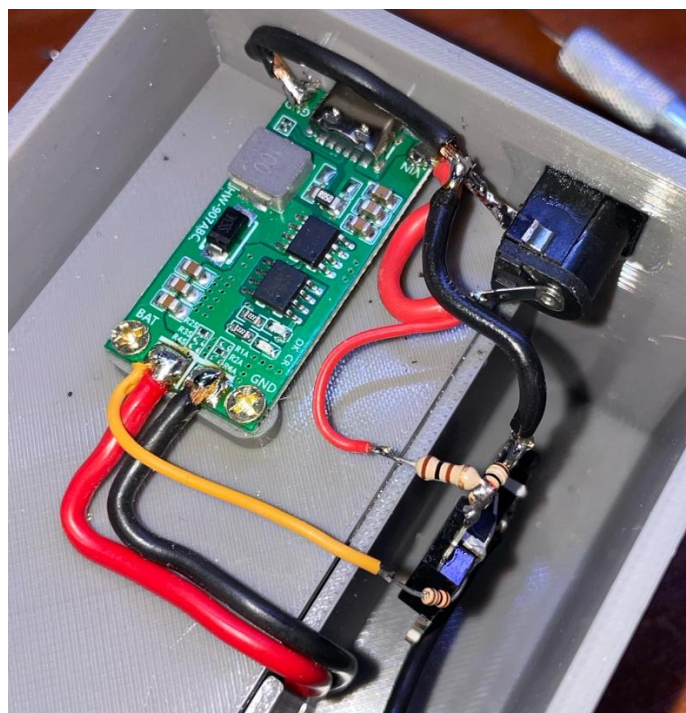
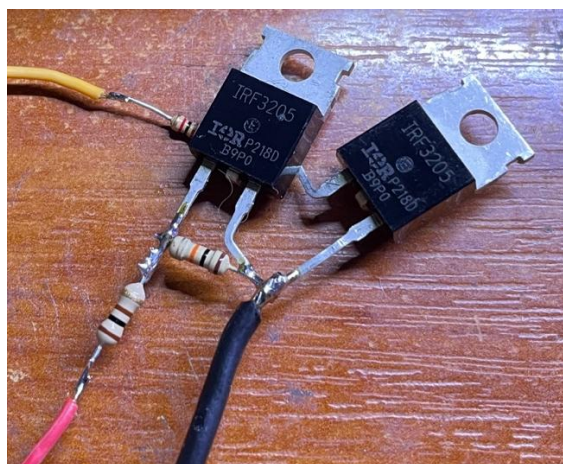


Рисунок 3.26 – Збирання вузла електронної комутації на MOSFET-транзисторах

Наступним етапом є підключення модулю пониження напруги XL4015 (рис. 3.27).

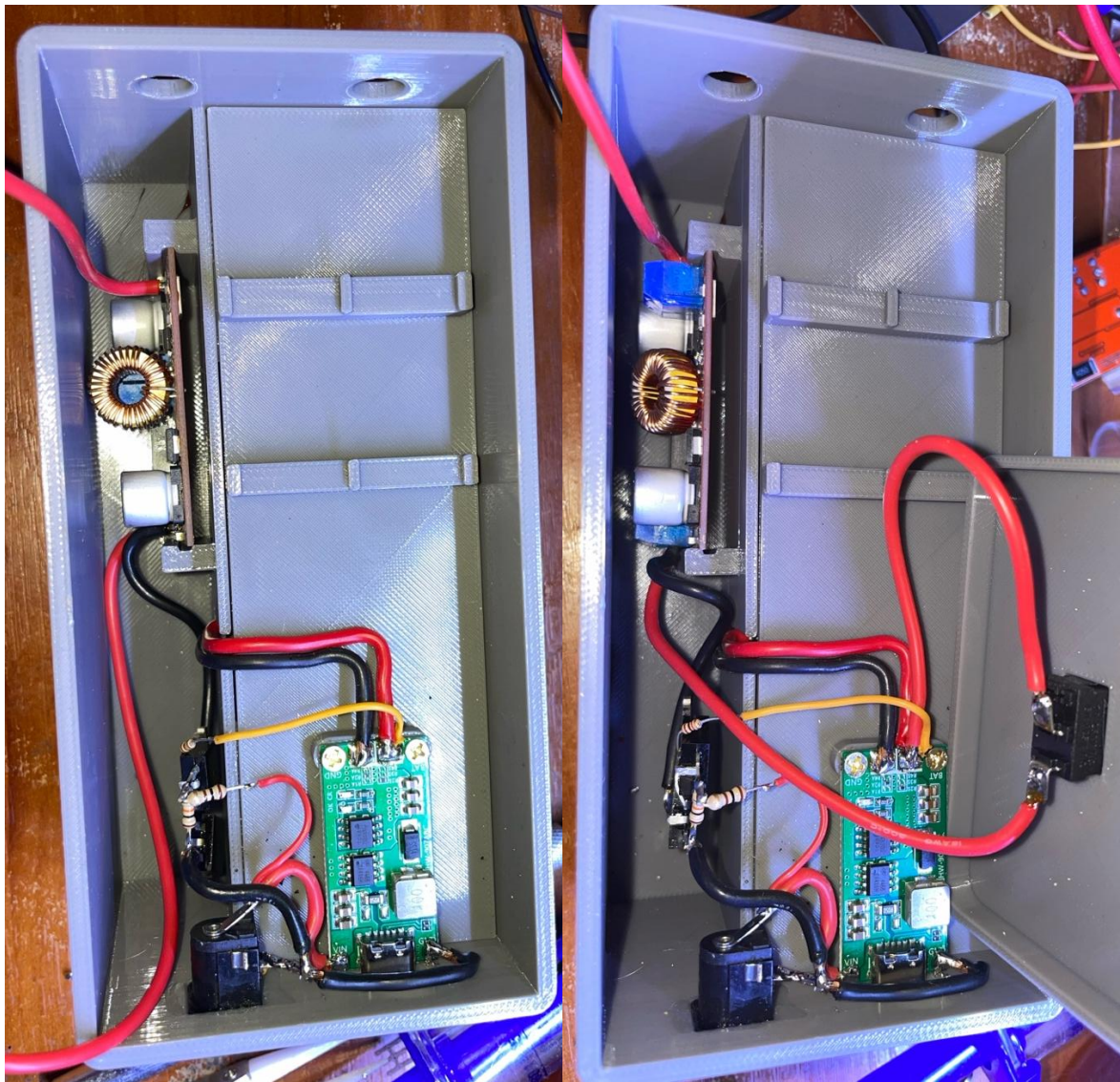


Рисунок 3.27 – Підключення модуля пониження напруги XL4015

На останньому етапі збирання монтуються роз'єми вихідного живлення, під'єднується та налаштовуються плати підвищення напруги згідно раніше наведеної схеми (рис. 3.28).

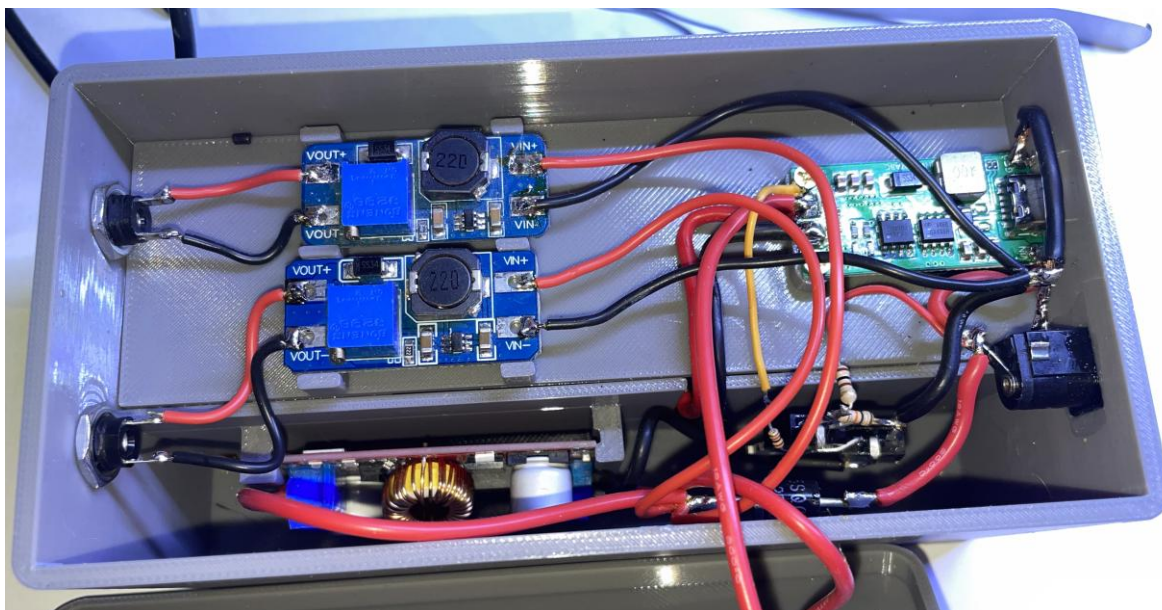


Рисунок 3.28 – Монтаж вихідних роз'ємів живлення в корпусі пристрою

Готовий вигляд зібраного пристрою показано нижче на рисунку 3.29.



Рисунок 3.29 – Готовий вигляд безперебійного блока живлення для мережевого обладнання

3.3 Тестування пристрою

Після завершення монтажу безперебійного блока живлення було проведено тестування його працездатності з метою перевірки правильності підключення компонентів, стабільності вихідних напруг і здатності пристрою переходити в автономний режим. Оскільки у складі пристрою використано різні елементи, тестування виконувалося поетапно для кожного функціонального вузла. Такий підхід дає змогу виявити можливі помилки монтажу ще до підключення мережевого обладнання.

На першому етапі було здійснено візуальний контроль з'єднань, перевірено полярність підключення акумуляторної збірки, BMS-плати, зарядного модуля та DC-DC перетворювачів. Особливу увагу приділено якості пайки, ізоляції контактів, надійності кріплення провідників і відсутності коротких замикань між силовими лініями. Після цього мультиметром перевірено напругу акумуляторної збірки, наявність напруги на виходах BMS і коректність роботи зарядного модуля під час подавання вхідної напруги 5 В.

На другому етапі виконано перевірку стабілізації вихідних напруг. За допомогою регулювання модуля XL4015 було встановлено стабільну напругу 5 В, яка використовується як базова внутрішня шина живлення. Далі перевірено роботу підвищуючих модулів MT3608, налаштованих на формування вихідних напруг 9 В і 12 В. Контроль здійснювався без навантаження та з підключенням тестового споживача, що дало змогу оцінити стабільність напруги при зміні режиму роботи.

На третьому етапі перевірено роботу пристрою в режимі безперебійного живлення. Для цього до виходу було підключено мережеве обладнання, після чого імітовано зникнення основного живлення. У результаті пристрій мав автоматично перейти на живлення від акумуляторної збірки без вимкнення навантаження. Додатково контролювалися нагрівання перетворювачів, стабільність роботи MOSFET-вузла та відсутність просідання напруги на виході. Проведене тестування підтвердило працездатність розробленого пристрою та можливість його використання для резервного живлення малопотужного мережевого обладнання.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі досліджено особливості електроживлення мережевого обладнання та визначено, що для роутерів, модемів, ONU-терміналів, невеликих комутаторів і точок доступу доцільно використовувати не класичний ДБЖ зі змінною напругою 220 В, а низьковольтний блок живлення постійного струму. Такий підхід зменшує кількість етапів перетворення енергії, підвищує енергоефективність і дає змогу отримати стабілізовані вихідні напруги, які безпосередньо відповідають потребам мережевого обладнання.

Реалізовано вибір акумуляторної збірки та компонентної бази пристрою. Для накопичення енергії обрано літій-іонні акумулятори формату 18650, які мають достатню енергетичну щільність, порівняно невелику масу, доступність і придатність для компактних автономних пристроїв. Для захисту акумуляторної збірки використано плату BMS 2S 20A, яка забезпечує захист від перезаряду, перерозряду, перевантаження за струмом і короткого замикання, а також контролює стан окремих комірок.

Розроблено схему підключення основних електронних компонентів безперебійного блока живлення. У схемі передбачено підвищуючий зарядний модуль 2S для заряджання акумуляторної збірки від джерела 5 В, понижуючий DC-DC перетворювач XL4015 для формування стабілізованої лінії 5 В, підвищуючі перетворювачі MT3608 для отримання вихідних напруг 9 В і 12 В, а також N-канальні MOSFET-транзистори IRF3205 для електронної комутації режимів живлення. Така схема дає змогу поєднати заряджання акумуляторів, стабілізацію напруги та автоматичний перехід до автономного режиму.

Візуалізовано структурну схему пристрою та окремі етапи підключення компонентів. У роботі наведено графічні матеріали, які демонструють контролер BMS 2S 20A, підвищуючий зарядний модуль 2S, модуль пониження напруги XL4015, підвищуючий перетворювач MT3608, схеми підключення акумуляторів, зарядного модуля, MOSFET-транзисторів, понижуючого та підвищуючих

перетворювачів. Це дозволило наочно представити логіку роботи пристрою та послідовність взаємодії його електронних вузлів.

Спроектовано корпус безперебійного блока живлення з урахуванням конструктивних і експлуатаційних вимог. Для цього використано підхід твердотілого САD-моделювання, який дав змогу передбачити окремий відсік для акумуляторної збірки, місця для розміщення BMS-плати, зарядного модуля, перетворювачів напруги, вхідних і вихідних роз'ємів, перемикачів рівня вихідної напруги та кнопки вмикання. Корпус орієнтовано на виготовлення методом 3D-друку, що забезпечує доступність, швидкість виготовлення та можливість подальшого вдосконалення конструкції.

Запропоновано та практично реалізовано конструкцію безперебійного блока живлення для мережевого обладнання. У процесі збирання сформовано акумуляторну збірку, підключено плату BMS, встановлено електронні модулі в корпус, змонтовано вузол електронної комутації на MOSFET-транзисторах, підключено понижуючий і підвищуючі перетворювачі та встановлено вихідні роз'єми живлення. У результаті отримано функціональний прототип пристрою, який може забезпечувати стабілізоване живлення мережевого обладнання під час перебоїв електропостачання.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Nebesniuk V. O., Nebesniuk O. Y., Nikonova Z. A., Nikonova A. A. Uninterrupted Power Supply System for Network Equipment. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2024. Vol. 16, No. 6. Article 06027. DOI: 10.21272/jnep.16(6).06027. URL: https://jnep.sumdu.edu.ua/en/full_article/4002 (date of access: 06.02.2026).
2. Cabrera-Tobar A., Grimaccia F., Leva S. Energy Resilience in Telecommunication Networks: A Comprehensive Review of Strategies and Challenges. *Energies*. 2023. Vol. 16, No. 18. Article 6633. DOI: 10.3390/en16186633. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/18/6633> (date of access: 10.02.2026).
3. Abaricia C. P. Development of Uninterruptible Power Supply (UPS) with Power Saving Features. *International Journal of Computing Sciences Research*. 2023. Vol. 7. P. 1109-1124. DOI: 10.25147/ijcsr.2017.001.1.92. URL: <https://stepacademic.net/ijcsr/article/view/302> (date of access: 12.02.2026).
4. Neelamraju P. M., Yellampalli S. Analysis of uninterruptable power supply critical-to-quality factors. *Journal of Power Electronics*. 2023. Vol. 23, No. 12. P. 1919-1930. DOI: 10.1007/s43236-023-00674-4. URL: <https://doi.org/10.1007/s43236-023-00674-4> (date of access: 19.02.2026).
5. Boros R. R., Jobbágy M., Bodnár I. Optimized Real-Time Energy Management and Neural Network-Based Control for Photovoltaic-Integrated Hybrid Uninterruptible Power Supply Systems. *Energies*. 2025. Vol. 18, No. 6. Article 1321. DOI: 10.3390/en18061321. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/6/1321> (date of access: 23.02.2026).
6. Mishra A. K., Pawar S., Patil R., Bhoi G., Patil J. Design and Implementation of a UPS Monitoring System Using IoT Technologies for Data Centers. *International Journal of Engineering Development and Research*. 2026. Vol. 14, Issue 2. P. 479-485. URL: <https://rjwave.org/ijedr/papers/IJEDR2602348.pdf> (date of access: 28.02.2026).
7. Chang E.-C., Tseng Y.-W., Cheng C.-A. Intelligent Robust Control Design with Closed-Loop Voltage Sensing for UPS Inverters in IoT Devices. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 13. Article 3849. DOI: 10.3390/s25133849. URL: <https://www.mdpi.com/1424->

8220/25/13/3849 (дата звернення: 05.03.2026).

8. BU-107: Comparison Table of Secondary Batteries. *Battery University*. URL: <https://www.batteryuniversity.com/article/bu-107-comparison-table-of-secondary-batteries> (date of access: 07.03.2026).

9. BU-205: Types of Lithium-ion. *Battery University*. URL: <https://www.batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion> (date of access: 08.03.2026).

10. Плата захисту для Li-Ion 2S 7,4V 20A, BMS плата контролер 2S 20A для Li-Ion акумуляторів 8,4В, плата захисту 18650 2s. *Bestbattery.com.ua*. URL: https://bestbattery.com.ua/ua/li_ion_1850_ua/batteries_set_ua/bms_ua/bms_2s_20a_ua (дата звернення: 10.03.2026).

11. 2S 8.4V 2A Type-C Li-ion Battery Charger Module. *Biggan Project*. URL: <https://bigganproject.bd/en/type-c-module/2s-8-4v-2a-type-c-li-ion-battery-charger-module> (date of access: 11.03.2026).

12. Модуль знижувальний DC-DC XL4015-E1 до 5A. *Detectori.com.ua*. URL: <https://detectori.com.ua/ua/catalog/ponizhajushhij-5a-dc-dc-preobrazovatel-xl4015-e1/> (дата звернення: 16.03.2026).

13. XLSEMI. XL4015 Datasheet: 5A 180KHz 36V Buck DC to DC Converter. *Radiolux*. URL: <https://radiolux.com.ua/files/pdf/XL4015.pdf> (date of access: 13.02.2026).

14. Підвищуючий перетворювач DC-DC MT3608, Uin 2...24 В, Uout до 28 В, Iout до 2 А. *Інтернет-радіоринок «Електроніка»*. URL: <https://electronica.in.ua/ua/p1544536408-povyshayuschij-preobrazovatel-mt3608.html> (дата звернення: 20.03.2026).

15. Aerosemi Technology. MT3608 Datasheet: High Efficiency 1.2MHz 2A Step Up Converter. *Olimex*. URL: <https://www.olimex.com/Products/Breadboarding/BB-PWR-3608/resources/MT3608.pdf> (date of access: 26.03.2026).

16. Infineon Technologies. IRF3205PbF HEXFET Power MOSFET Datasheet. *Infineon*. URL: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IRF3205-DataSheet-v01_01-EN.pdf (date of access: 30.03.2026).