

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Багатофункціональна акумуляторна система автономного живлення
(тема)

Виконав:
здобувач 2 року навчання
групи ЕПМ-23-1

Гарькавенко П. О.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 Електроніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Електронні прилади та пристрої
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Бондаренко І. М.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Бондаренко І. М.
(прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв
(повна назва)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 171 Електроніка
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Електронні прилади та пристрої
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Гарькавенку Павлу Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Багатофункціональна акумуляторна система автономного живлення

затверджена наказом університету від 12 грудня 2024 р. № 1283 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 20__ р.

3. Вихідні дані до роботи: Li-ion, LiFePO₄ та гелеві акумулятори, їхні параметри, особливості розряду та заряджання; моделі DC-DC та DC-AC перетворювачів, технічна документація на базові модулі, такі як step-down та step-up конвертери, їх параметри та ефективність роботи; структурні схеми: напрацювання для мобільних та стаціонарних систем автономного живлення.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

1) Ознайомлення з принципом роботи та огляд структурних схем автономних систем живлення;

2) Огляд модулів їх параметрів і характеристик та схем автономних систем живлення;

3) Проаналізувати, та дослідити отримані теоретичні результати;

4) На основі отриманих даних побудувати багатофункціональну систему автономного живлення.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 54 сторінок, 34 рисунків, 3 таблиці, 17 джерел, 2 додатки.

АВТОНОМНІ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ; АКУМУЛЯТОРИ; DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧІ; МРРТ-КОНТРОЛЕРИ; ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ.

Об'єкт дослідження – сучасні автономні системи живлення та їхні компоненти, зокрема акумуляторні батареї, інвертори, системи управління батареями (BMS) та контролери заряду, що використовуються для резервного живлення та інтеграції з відновлюваними джерелами енергії.

Мета роботи – розробка концепції портативної автономної системи живлення з використанням сучасних технологій акумуляування енергії, перетворення напруги та оптимізації заряджання за допомогою МРРТ-контролерів.

Метод дослідження – аналіз конструкції автономних систем живлення, моделювання енергетичних процесів у системах DC-DC і DC-AC перетворення, розрахунок енергоефективності та тестування прототипів у реальних умовах.

Проведено дослідження різних типів акумуляторів: літій-іонних, літій-залізо-фосфатних та гелевих. Виконано моделювання систем перетворення енергії та запропоновано структурну схему портативної автономної системи. Визначено ключові параметри для підвищення ефективності та гнучкості систем.

Отримані результати демонструють доцільність використання відновлюваних джерел енергії у поєднанні з сучасними акумуляторними системами для забезпечення енергетичної незалежності. Запропонована система може бути використана як для мобільних, так і для стаціонарних потреб.

ABSTRACT

Explanatory note to the qualification work: 54 pages, 34 figures, 3 tables, 17 references, 2 appendixes.

AUTONOMOUS POWER SYSTEMS; BATTERIES; DC-DC CONVERTERS; MPPT CONTROLLERS; RENEWABLE ENERGY SOURCES.

Object of research – modern autonomous power systems and their components, including battery packs, inverters, battery management systems (BMS), and charge controllers used for backup power and integration with renewable energy sources.

Purpose of the work – to develop a concept for a portable autonomous power system using modern energy storage technologies, voltage conversion, and charge optimization through MPPT controllers.

Research method – analysis of the construction of autonomous power systems, modeling of energy processes in DC-DC and DC-AC conversion systems, calculation of energy efficiency, and testing of prototypes in real conditions.

Research has been conducted on different types of batteries: lithium-ion, lithium iron phosphate, and gel batteries. Energy conversion systems have been modeled, and a structural scheme for a portable autonomous system has been proposed. Key parameters for enhancing the efficiency and flexibility of the systems have been identified.

The results demonstrate the feasibility of using renewable energy sources in combination with modern battery systems to ensure energy independence. The proposed system can be used for both mobile and stationary needs.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ -----	3
ABSTRACT-----	4
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ -----	6
ВСТУП -----	7
1 ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ -----	9
1.1 Типи систем автономного живлення -----	9
1.2 Накопичувач енергії в автономних системах живлення -----	10
1.3 Перетворювач напруги DC-DC та DC-AC -----	14
1.4 Заряд від альтернативних джерел енергії -----	19
1.5 Механізми безпеки, BMS -----	21
1.6 Висновки -----	22
2 СТРУКТУРНА СХЕМА ТА КОМПОНЕНТИ СИСТЕМИ -----	24
2.1 Структурна блок схема мобільних систем автономного живлення -----	24
2.2 Структурна блок схема стаціонарної системи автономного живлення -----	36
2.3 Висновки -----	39
3 РОЗРОБКА ПОРТАТИВНОЇ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ -----	41
3.1 Розробка блок схеми портативної автономної системи живлення -----	41
3.2 Складові пристрою та їх параметри -----	43
3.3 Компонування в корпусі елементів -----	47
3.4 Висновки -----	49
ВИСНОВКИ -----	50
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ -----	52
ДОДАТОК А -----	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК Б -----	Ошибка! Закладка не определена.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

BMS – система управління акумулятором (Battery Management System)

CAN – сітка контролерів (Controller Area Network)

DC – постійний струм (Direct Current)

DC-AC – перетворювач постійної напруги в змінну (Direct Current to Alternating Current)

DC-DC – перетворювач постійної напруги в постійну (Direct Current to Direct Current)

MPPT – Максимальна точка потужності (Maximum Power Point Tracking)

PWM – широтно-імпульсна модуляція (Pulse Width Modulation)

SoC – стан заряду (State of Charge)

SoH – стан здоров'я (State of Health)

USB PD – швидка зарядка через USB (USB Power Delivery)

UART – універсальний асинхронний приймально-передавальний пристрій (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)

UPS – джерело безперебійного живлення (Uninterruptible Power Supply)

ВСТУП

У сучасному світі електроенергія стала незамінним компонентом нашого повсякденного життя. Електронні пристрої, які ми використовуємо вдома, в офісі чи навіть під час подорожей, потребують постійного підключення до джерел живлення. Неможливо уявити ефективну роботу, навчання чи навіть дозвілля без стабільного доступу до електроенергії.

Часті перебої у постачанні електроенергії, викликані природними катаклізмами, технічними несправностями чи іншими факторами, можуть вплинути на наш звичайний ритм життя. Залишитися без енергії у важливий момент означає втрату продуктивності, що може вплинути на роботу, навчання та інші аспекти нашого життя. Саме тому важливо мати надійні автономні системи живлення, які можуть забезпечити необхідну енергію у критичний момент.

Одним із найбільш універсальних та ефективних рішень у цьому напрямку є багатофункціональні акумуляторні системи. Ці системи здатні забезпечити зарядку різноманітних пристроїв, таких як ноутбуки, мобільні телефони та інші необхідні для повсякденного життя електронні прилади. Вони об'єднують у собі кілька компонентів: перетворювачі напруги з акумуляторної напруги в постійні 20В та 5В, перетворювач напруги з постійної в змінну для живлення пристроїв з напругою 220В, та перетворювач напруги, до якого можна під'єднати блок живлення або сонячну панель для заряду акумуляторів. Це робить такі системи незамінними в умовах перебоїв з електропостачанням або під час подорожей, коли доступ до стаціонарних джерел живлення обмежений.

У цій роботі будуть розглянуті основні принципи роботи багатофункціональних акумуляторних систем, їхня архітектура, переваги та можливості використання. Окрема увага буде приділена аналізу ефективності таких систем у різних сценаріях застосування, що допоможе визначити їхній потенціал для забезпечення стабільного та надійного електропостачання в

умовах сучасного світу. Використання інноваційних підходів та технологій у розробці таких систем дозволить підвищити їхню ефективність та надійність, забезпечуючи користувачів необхідною енергією у будь-яких умовах[1].

1 ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ

1.1 Типи систем автономного живлення

Системи автономного живлення поділяються на два основних типи: мобільні та стаціонарні. Мобільні системи автономного живлення — це компактні, портативні рішення, які призначені для транспортування та використання в різних умовах. Вони забезпечують живлення невеликих пристроїв або систем у польових умовах, під час відпочинку, роботи в віддалених місцях чи аварійних ситуацій. Прикладом найбільш поширеної такої системи може бути EcoFlow (рис. 1.1а) це велика мобільна система котра має роз'єми для зарядки пристроїв через USB та USB type-c, ємність акумулятора може становити від 256Вт·год до 3600Вт·год(може бути модульно розширена до 25кВт·год), та вбудованим інвертором потужністю від 300Вт до 3600Вт. Має порт підключення сонячної панелі. Вага таких пристроїв становить від 3,5кг до 45кг.

Стаціонарні системи автономного живлення — це великогабаритні установки, які фіксуються на постійному місці експлуатації. Їх використовують для забезпечення безперебійного живлення будинків, підприємств, об'єктів критичної інфраструктури або для накопичення надлишкової енергії від відновлюваних джерел. Прикладом такої системи може бути Tesla Powerwall (рис. 1.1б) ця система як і інші аналогічні не мають вбудованих портів USB для зарядки малопотужних гаджетів. Ємність акумуляторної батареї такого пристрою становить 13,5 Вт·год та можна під'єднати додатково акумулятори для розширення до 135кВт·год. Номінальна потужність усієї лінійки пристроїв становить 5кВт але вони можуть вмикатися паралельно та збільшувати потужність до 50кВт від 10модулів. Також є можливість створення трифазної системи живлення. Вага даного пристрою становить 120кг[2].

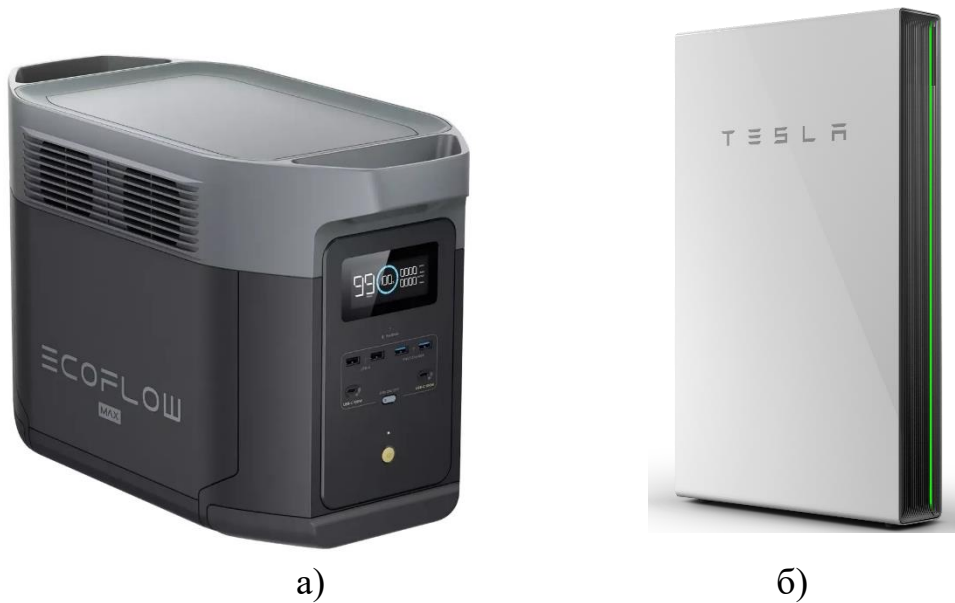


Рисунок 1.1 – Приклади систем автономного живлення

За своєю внутрішньою структурою ці системи автономного живлення мають однакову будову і відрізняються тільки потужністю елементів з яких вони створені. Спільні риси цих пристроїв є:

а) автономність: здатність забезпечувати живлення без підключення до централізованої мережі на деякий проміжок часу;

б) інтеграція з відновлюваними джерелами енергії: можливість заряджання від сонячних панелей, вітрових турбін;

в) система управління батареями (BMS): контроль параметрів роботи для забезпечення безпеки та продовження терміну служби;

г) забезпечення безперебійного живлення під час аварійних ситуацій[2,3].

1.2 Накопичувач енергії в автономних системах живлення

Акумуляторна батарея є основним елементом будь-якої системи автономного живлення, оскільки вона забезпечує зберігання енергії для подальшого використання. Вибір типу акумулятора визначається такими критеріями, як ємність, термін служби, ефективність, вартість та безпека. Існує

кілька типів акумуляторів, що використовуються в сучасних акумуляторних системах, кожен з яких має свої особливості та застосування.

Літій-іонні акумулятори (Li-ion) є найпоширенішим типом для сучасних систем зберігання енергії завдяки їх високій енергетичній щільності та тривалому терміну служби. Вони працюють на основі переносу літєвих іонів між катодом і анодом при заряджанні та розряджанні (рис. 1.2). Перевагами даного типу акумуляторів є висока енергетична щільність, низький рівень саморозряду, довгий термін служби (1000 циклів заряду-розряду до зниження ємності до 80%), висока ефективність перетворення енергії. До недоліків можна віднести: чутливість до високих та низьких температур, висока вірогідність загорання при не виконанні умов експлуатації.

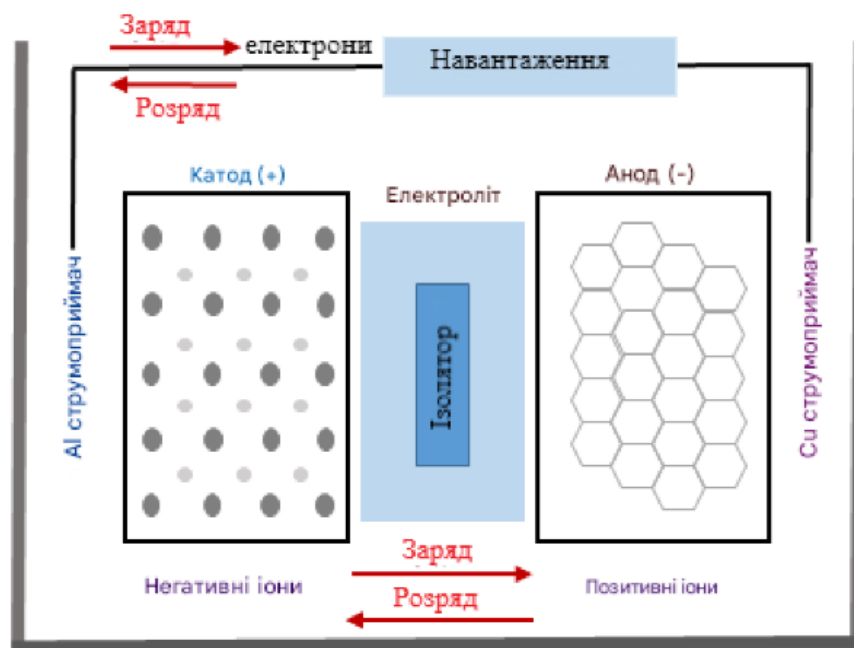


Рисунок 1.2 – Схематичне відображення роботи Li-ion акумулятору

Літій-залізо-фосфатні акумулятори (LiFePO_4), це підтип літій-іонних акумуляторів, які використовують літій-залізо-фосфат як матеріал для катоду. Вони мають деякі унікальні переваги, включаючи кращу термостійкість оскільки не втрачають ємність та можуть працювати при від'ємних температурах, безпеку в користуванні, оскільки вони не мають відкритого полум'я під час загорання та

тривалий термін служби (від 2000 циклів заряду-розряду до зниження ємності до 80%). Недоліками є менша енергетична щільність порівняно з традиційними літій-іонними акумуляторами[4].

Гелеві акумулятори (Gel) є типом свинцево-кислотних батарей (рис. 1.3), де електроліт замінюється на гелеподібну масу. Це робить їх менш схильними до витоків і забезпечує більшу безпеку при експлуатації оскільки не мають випарів кислоти під час експлуатації. Гелеві акумулятори використовуються в різних типах автономних систем живлення, від сонячних станцій до транспортних засобів та резервних джерел живлення. Перевагами даного типу акумуляторів є безпека у використанні, відсутність витоків електроліту, добре витримують часті цикли зарядки та розрядки, низький рівень саморозряду. Недоліками є ще менша енергетична щільність порівняно з літій-залізо-фосфатними акумуляторами, обмежений термін служби (близько від 400 до 800 циклів заряд-розряд).

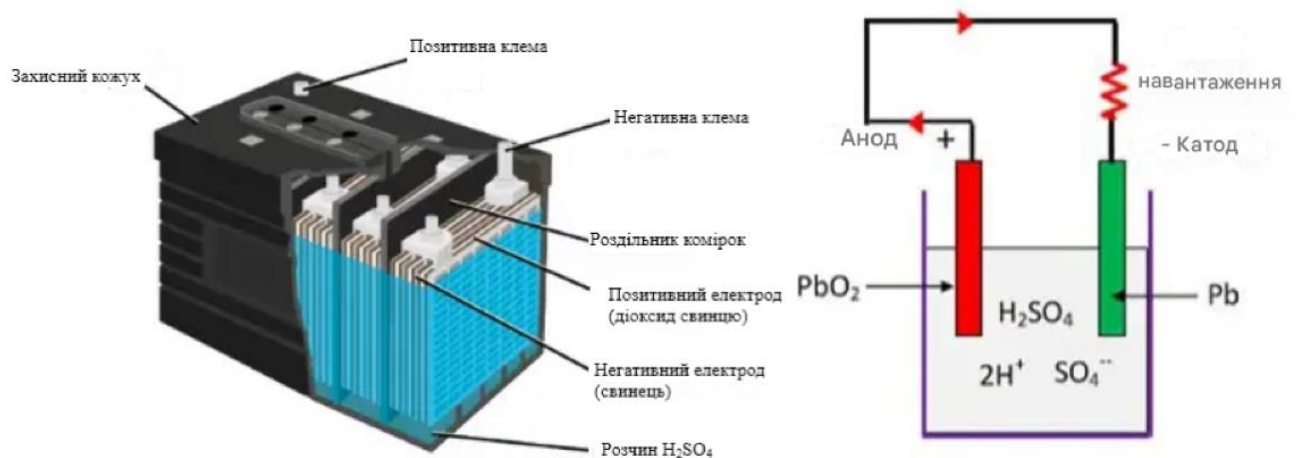


Рисунок 1.3 – Структура акумулятора типу Gel

Принцип роботи акумуляторних батарей ґрунтується на процесах хімічних реакцій між матеріалами катода та анода при заряджанні і розряджанні батареї. У процесі заряджання електрична енергія перетворюється на хімічну, а при розряджанні — зворотний процес: хімічна енергія перетворюється на електричну.

Літій-іонні акумулятори: Іони літію переміщуються між катодом (зазвичай з матеріалу, що містить літій, наприклад, літій-кобальтовий оксид) і анодом (зазвичай графітовим), що забезпечує зберігання енергії.

Літій-залізо-фосфатні акумулятори: Іони літію переміщуються між залізо-фосфатним катодом та графітовим анодом, що забезпечує високу безпеку і стабільність батареї.

Гелеві акумулятори: Використовують гелеподібний електроліт, що зменшує ризик витоків, а також забезпечує більшу надійність та безпеку під час експлуатації.

Основними характеристиками акумуляторів є:

а) ємність — це кількість енергії, яку акумулятор може зберігати і віддавати. Вона вимірюється в ват-годинах (Вт·год) або ампер-годинах (А·год). Ємність визначає, як довго батарея може жити навантаження. В кожного типу батареї ємність може бути різною і залежати від розмірів самого акумулятора;

б) напруга — показує рівень електричного потенціалу, який акумулятор може забезпечити для роботи електричних пристроїв. Літій-іонні акумулятори мають номінальну напругу 3,7В та максимальну, тобто повністю заряджена комірка 4,2В. Літій-залізо-фосфатні акумулятори мають номінальну напругу 3,2В та максимальну на одну комірку 3,65В. Гелеві акумулятори мають номінальну напругу 2В та максимальну напругу 2,4В на комірку, але гелеві акумулятори не можна знайти по одній комірці вони є в продажу від 2 до 6 комірок в одному корпусі;

в) енергетична щільність — співвідношення збереженої енергії до об'єму або маси акумулятора, що визначає компактність і ефективність. Середня енергетична щільність для даних типів акумуляторів становить: Літій-іонний акумулятор від 150 до 250 Вт·год/кг; Літій-залізо-фосфатні акумулятори мають від 90 до 160 Вт·год/кг та гелеві акумулятори від 30 до 50 Вт·год/кг.

Для побудови стаціонарного автономного джерела живлення використовуються літій-залізо-фосфатні акумулятори оскільки вони є найбільш безпечними та в даній системі відсутні обмеження на вагу пристрою. В системах

портативного джерела живлення котрі мають вагу більше 15кг встановлюються також літій-залізо-фосфатні акумулятори тому що ці системи мають можливість для швидкого переміщення але не на постійних основах. А ось до 15кг системи автономного живлення частіше обладнанні літій-іонним акумулятором оскільки він має більшу енергетичну щільність тому ці пристрої компактніші і можуть бути переміщені за допомогою портфелю разом з пристроєм який потрібно заживити.

Також однією з особливостей кожного типу акумуляторів є графіки розряду оскільки вони відрізняються один від одного при однакових умовах тестування, та літій-залізо-фосфатні акумулятори мають перевагу серед інших типів, своєю стабільною напругою на всьому проміжку розряду. Результат відображений на (рис. 1.4) для збірок акумуляторів номінальної напруги 12В (Li-ion - 3 послідовних комірки, LiFePO₄ – 4 послідовних комірки, Gel – 6 послідовних комірок)[4,5].

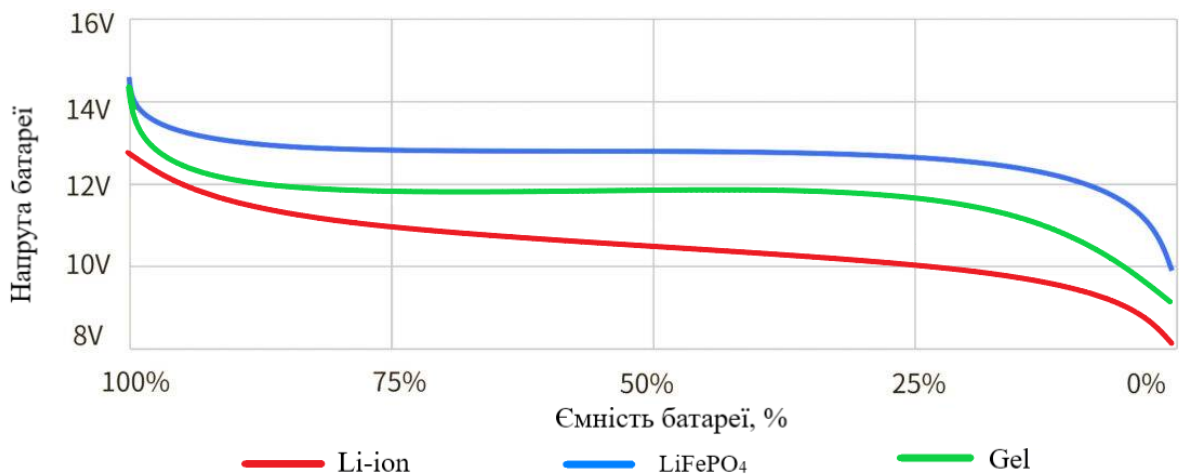


Рисунок 1.4 – Графік залежності напруги від ємності

1.3 Перетворювач напруги DC-DC та DC-AC

Перетворювачі напруги використовуються для зміни величини та типу напруги з одного рівня на інший, щоб забезпечити ефективне живлення різних електричних пристроїв. Вони класифікуються на два основних типи: перетворювачі постійної напруги (DC-DC) та перетворювачі постійної напруги в змінну (DC-AC).

Перетворювачі постійної напруги (DC-DC) призначені для зміни рівня постійної напруги в межах однієї системи з постійним струмом. Вони широко використовуються для живлення пристроїв, які працюють на постійному струмі, таких як портативні електронні пристрої або акумуляторні системи. Ці перетворювачі поділяються на три типи:

а) котрі збільшують напругу (Boost converter) (рис. 1.5): Ці перетворювачі підвищують рівень напруги, забезпечуючи вихідну напругу вищу за вхідну. Вони використовуються, коли необхідно підвищити напругу для конкретних потреб (наприклад, для живлення високовольтних пристроїв від низьковольтних джерел)[6];

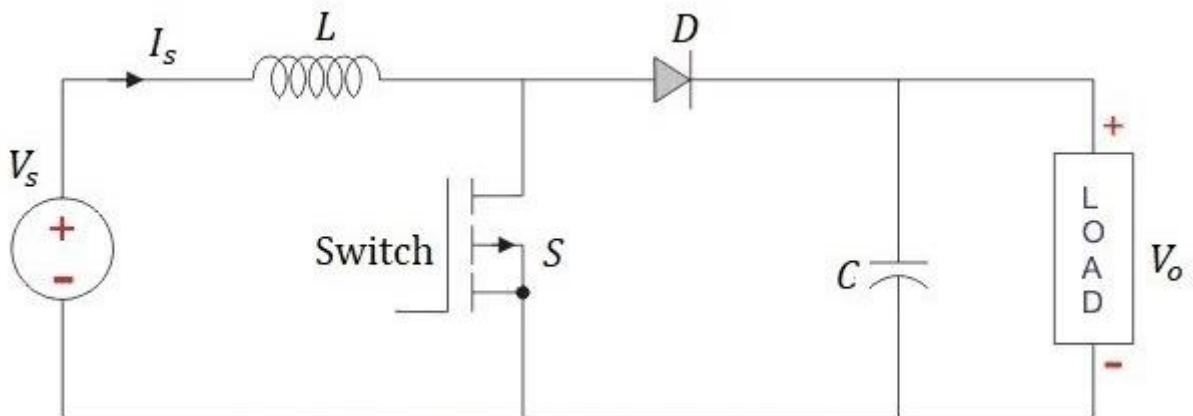


Рисунок 1.5 – Принципова схема увімкнення підвищуючого перетворювача

б) котрі знижують напругу (Buck converter) (рис. 1.6): Перетворювачі цього типу знижують напругу, забезпечуючи вихідну напругу нижчу за вхідну. Вони використовуються для зниження рівня напруги для живлення мобільних пристроїв, де низька напруга потрібна для безпечної роботи[7];

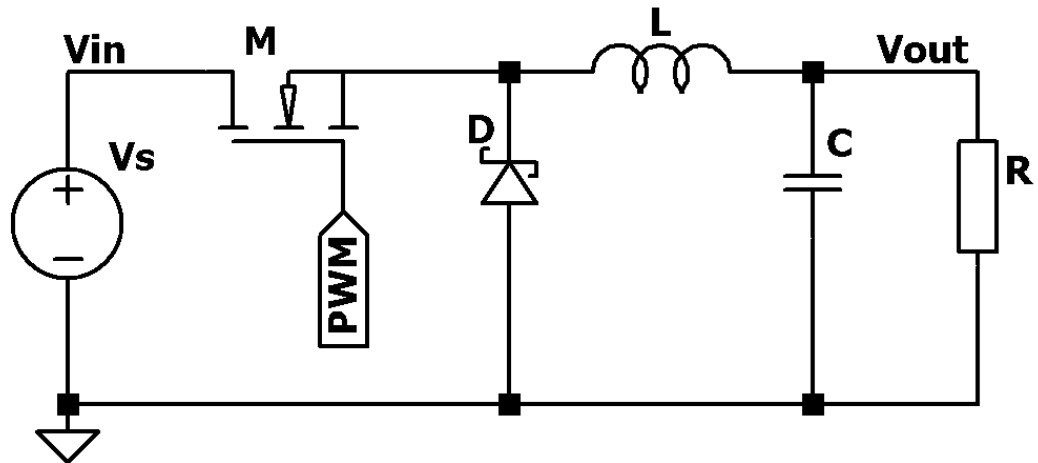


Рисунок 1.6 – Принципова схема увімкнення понижуючого перетворювача

в) понижуюче-підвищуючі перетворювачі (Buck-Boost converter) (рис. 1.7): Ці перетворювачі можуть як підвищувати, так і знижувати напругу залежно від потреби та не залежно від вхідної напруги[8].

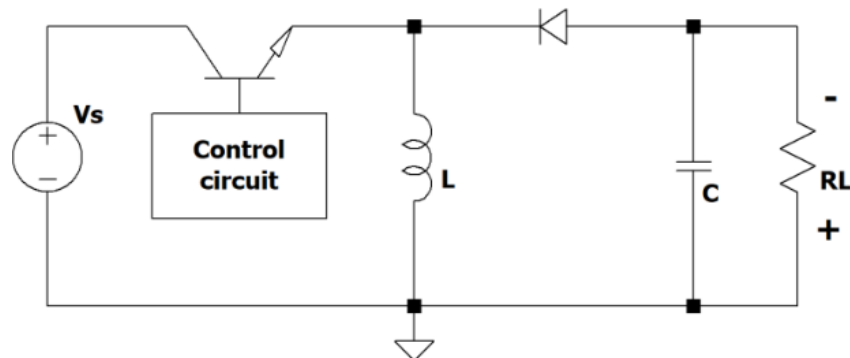


Рисунок 1.7 – Принципова схема понижуюче-підвищуючого перетворювача

В залежності від вбудованої батареї в мобільній системі автономного живлення можуть використовуватись ці перетворювачі для безпосереднього живлення мобільних пристроїв та ноутбуків через порти USB та USB Type-c. Для телефонів використовується DC-DC Buck converter оскільки є необхідність в зниженні напруги до 5В, оскільки це стандартна напруга для усіх гаджетів, однак новітні технології швидкої зарядки, такі як Quick Charge або USB Power Delivery (PD), можуть забезпечувати вищі значення вихідної напруги та потужності, що дозволяє швидше заряджати пристрої. Перетворювачі DC-DC, що підтримують

такі технології, використовують спеціальні алгоритми для регулювання напруги та струму відповідно до потреби пристрою. Такий перетворювач може досягати потужності до 45 Вт. Але для живлення ноутбуку якщо він підтримує можна підключитись до порту USB Type-c з підтримкою PD оскільки цей порт підтримує потужність до 120Вт, і для цього використовується Buck-Boost converter, оскільки вхідна напруга (акумуляторної батареї) не завжди є вищою або нижчою за вихідну(в залежності від підключеного пристрою може становити від 5 до 20В).

Однією з причин використовувати ці порти є більший ККД оскільки використовується один перетворювач напруги, замість того щоб перетворювати напругу в мережеву після чого її за допомогою блока живлення пристрою зменшувати до необхідної.

Для заряду акумуляторної батареї можна також використовувати понижуючий перетворювач напруги DC-DC оскільки його можна налаштувати на максимальну напругу акумуляторної батареї та ввімкнути в режим роботи стабільний струм. Таким чином можна завдяки одному перетворювачу заряджати систему від мережі завдяки будь-якому блоку живлення який має напругу більше ніж акумулятор або від сонячної панелі. Оскільки цей перетворювач може мати великий діапазон вхідної напруги та потужність необхідну для нормальної роботи пристрою[6,7,8].

Другий тип перетворювача котрий перетворюють постійну напругу (DC) в змінну (AC) такі перетворювачі також мають назву інвертор. Вони є критично важливими для забезпечення живлення пристроїв, які працюють на змінному струмі та не мають можливості живлення від іншого джерела.

Принципи роботи інверторів: Інвертори працюють за принципом зміни напрямку струму, використовуючи комутаційні елементи, такі як транзистори або тиристори. Це дозволяє їм перетворювати постійну напругу в змінну з певною частотою та амплітудою. Інвертори можуть бути реалізовані на базі різних схем, таких як:

а) синусоїдальні інвертори — забезпечують стабільну синусоїдальну форму хвилі, що підходить для чутливої електроніки, таких як побутові прилади з електромоторами та прилади котрі мають низькочастотні трансформатори. Основні етапи роботи цього перетворювача:

На першому етапі постійна напруга акумулятора підвищується за допомогою схеми підсилувача (Boost Converter). Це необхідно для забезпечення напруги, відповідної амплітуді майбутньої синусоїдальної хвилі. Потім постійна напруга перетворюється на змінну за допомогою транзисторів (MOSFET або IGBT), які керуються мікроконтролером. Транзистори періодично відкриваються і закриваються, створюючи імпульси змінного струму. Змінний струм формується за допомогою методу широтно-імпульсної модуляції (PWM). Мікроконтролер генерує високочастотні імпульси, ширина яких змінюється так, щоб середнє значення напруги утворювало синусоїду. З отриманої імпульсної хвилі виділяється чиста синусоїда за допомогою LC-фільтра (індуктивно-конденсаторного). Цей фільтр згладжує імпульси, усуваючи високочастотні компоненти і залишаючи лише синусоїдальну хвилю (рис. 1.8а)[9];

б) модифіковані синусоїдальні інвертори — генерують апроксимовану синусоїду і використовуються для менш чутливих пристроїв котрі мають в своїй конструкції імпульсне джерело живлення. Основні етапи роботи цього перетворювача: Як і в синусоїдальних інверторах, на першому етапі вхідна постійна напруга підвищується за допомогою підсилувального каскаду (Boost Converter). Після постійна напруга перетворюється на змінну за допомогою транзисторів, які працюють у режимі комутації (включення/виключення). Мікроконтролер керує транзисторами так, щоб створити послідовність прямокутних імпульсів, які імітують синусоїдальну форму (рис. 1.8б)[9];

в) квадратурні інвертори — дешевші та простіші в конструкції, але можуть створювати більше електричних шумів, мають прямокутну форму сигналу на виході, підходять для живлення усієї техніки котрі мають в своїй конструкції імпульсне джерело живлення. Етапи роботи даного перетворювача наступні: На першому етапі використовується підсилувальний каскад (Boost Converter). Він

підвищує вхідну напругу до потрібного рівня. Далі постійна напруга перетворюється на змінну за допомогою транзисторів. Перемикання транзисторів здійснюється в такий спосіб, щоб на виході створювалися дві рівні за амплітудою і тривалості фази: позитивна та негативна. У результаті формується сигнал з "квадратною" формою хвилі (рис. 1.8в)[9].

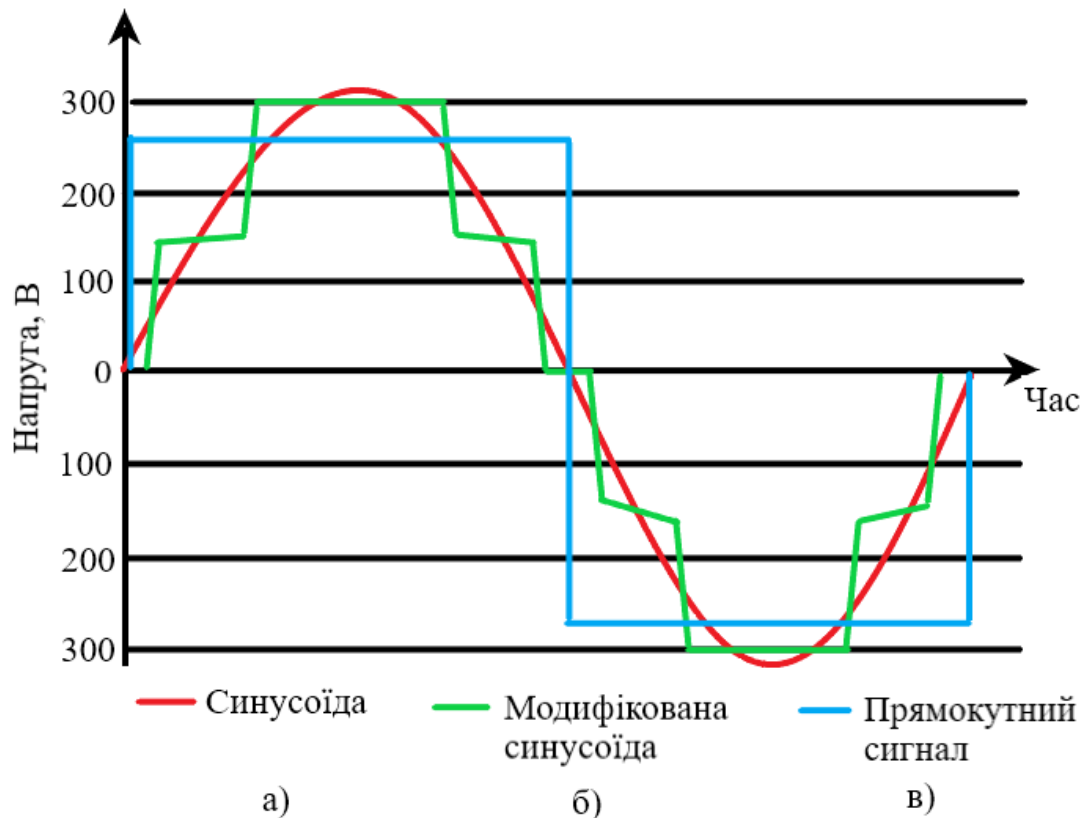


Рисунок 1.8 – Типи вихідних сигналів

1.4 Заряд від альтернативних джерел енергії

Для заряджання портативної системи автономного живлення від сонячної енергії використовуються низьковольтні сонячні панелі. Їх напруга холостого ходу зазвичай не перевищує від 36В до 44 В. Такі панелі є ідеальними для невеликих автономних систем, оскільки вони легко інтегруються з контролерами заряду типу PWM або MPPT, які регулюють процес заряджання акумуляторів. У залежності від встановленого перетворювача (інвертора або контролера),

зазвичай комутуються одна або дві панелі послідовно для забезпечення необхідної напруги та струму.

Для заряджання стаціонарних систем автономного живлення, які мають більшу потужність та потребують більшої напруги, виникає необхідність використовувати високовольтні сонячні панелі або їх послідовні з'єднання. У таких системах мінімальна напруга повинна становити 80 В, а максимальна не повинна перевищувати від 450В до 500 В. Це відповідає мінімальній кількості від 2 до 8 високовольтних сонячних панелей, у яких напруга холостого ходу становить від 55 В до 60 В. Робоча напруга під навантаженням таких панелей складає близько 45 В.

Використання високовольтних сонячних панелей в стаціонарних системах має наступні переваги над низьковольтними:

а) використання високовольтних панелей дозволяє мінімізувати втрати енергії на проводах, оскільки вища напруга супроводжується меншими струмами, що знижує нагрівання і падіння напруги;

б) залежно від потреб системи, сонячні панелі можуть об'єднуватися в послідовно-паралельні з'єднання (за умови додаткового контролера для паралельного увімкнення). Це дозволяє легко масштабувати систему для задоволення потреб у енергії;

в) для таких систем зазвичай використовуються МРРТ-контролери, які оптимізують роботу сонячних панелей, знаходячи точку максимальної потужності навіть при змінних умовах освітлення.

Для стаціонарних систем можливе розширення потужності шляхом паралельної роботи декількох автономних систем живлення. У такому випадку кожна з автономних систем складається з окремої групи сонячних панелей, контролера заряду та акумуляторної батареї, які синхронізуються через центральний інвертор або працюють незалежно.

Окрім сонячних панелей, для заряджання автономних систем живлення можуть використовуватися й інші відновлювальні джерела енергії, такі як:

а) вітрові турбіни: Ефективні в регіонах із сильними та стабільними вітрами. Використовуються разом із сонячними панелями для забезпечення більш стабільного енергопостачання;

б) гідроелектрогенератори: Застосовуються в системах, розташованих поблизу природних чи штучних водних потоків[10].

1.5 Механізми безпеки, BMS

Система управління акумулятором (Battery Management System, BMS) є ключовим компонентом акумуляторної системи, що забезпечує її ефективну, безпечну та довговічну роботу. Одним із основних завдань BMS є захист акумулятора від небезпечних умов експлуатації, таких як перевантаження, короткі замикання та перегрів.

Захист від перевантажень полягає у контролі струму заряджання та розряджання акумулятора. У разі перевищення безпечного рівня струму система автоматично обмежує його або повністю розриває електричний ланцюг. Це запобігає пошкодженню батареї під час підключення потужних споживачів або у випадках несправності. Захист від коротких замикань також є критично важливим: у таких ситуаціях BMS миттєво розриває ланцюг, щоб уникнути високих струмів, які можуть спричинити перегрів, пошкодження акумулятора чи навіть пожежу. Для реалізації цього механізму використовуються швидкодіючі запобіжники або електронні вимикачі.

Ще одним важливим аспектом є захист від перегріву. BMS постійно моніторить температуру акумуляторів за допомогою спеціальних термодатчиків. У разі перевищення допустимого температурного діапазону система може знизити потужність заряджання чи розряджання, або ж повністю відключити акумулятор до стабілізації температури. Ця функція особливо важлива для літєвих акумуляторів, які є чутливими до перегріву.

Системи BMS можна поділити на два основних типи: звичайна та розумна (Smart BMS). Звичайна BMS виконує базові функції, зокрема моніторинг

напруги, струму та температури. Вона має обмежені можливості управління, зосереджуючись переважно на функціях захисту. Такі системи зазвичай застосовуються у простих пристроях, наприклад у портативних акумуляторах. BMS дозволяє моніторити стан кожного окремого елемента акумулятора, визначати стан заряду (SoC), а також виконувати пасивне балансування елементів, що продовжує термін служби батареї. Основними перевагами звичайної BMS є її невисока вартість та простота конструкції, хоча функціональність таких пристроїв є досить обмеженою.

Розумна BMS, у свою чергу, є значно більш функціональною. Вона оснащена мікропроцесором і забезпечує детальний контроль над акумуляторною системою. Такі пристрої можуть інтегруватися з іншими компонентами через інтерфейси передачі даних, наприклад CAN, UART або Bluetooth. Smart BMS дозволяє моніторити стан кожного окремого елемента акумулятора, визначати стан заряду (SoC) та стан здоров'я (SoH), а також виконувати активне або пасивне балансування елементів, що продовжує термін служби батареї. Вона також може бути інтегрована із зовнішніми системами, такими як сонячні інвертори або зарядні станції, і забезпечує можливість віддаленого моніторингу та оновлення прошивки.

Таким чином, вибір між звичайною та розумною BMS залежить від вимог конкретної системи. Для простих або портативних пристроїв достатньо базової системи управління, тоді як для складних стаціонарних або мобільних рішень найкраще підходить Smart BMS. У будь-якому випадку використання BMS значно підвищує безпеку, надійність та ефективність експлуатації акумуляторної системи[11].

1.6 Висновки

Автономні системи живлення є перспективним напрямком у сфері енергетики, особливо в контексті зростаючих потреб у незалежному енергопостачанні та розвитку відновлюваних джерел енергії. Ці системи

забезпечують надійне та стабільне електропостачання в місцях, де відсутня централізована енергосистема, або як резервне джерело живлення.

Ключовими компонентами таких систем є акумуляторні батареї, інвертори та контролери заряду. Сучасні акумулятори, зокрема літій-іонні та літій-залізо-фосфатні, забезпечують високу енергетичну щільність, довгий термін служби та ефективність. Інвертори перетворюють постійний струм від акумулятора на змінний, необхідний для живлення побутової техніки. Контролери заряду оптимізують процес заряджання акумуляторів від сонячних панелей та інших джерел енергії.

Системи управління батареями (BMS) відіграють важливу роль у забезпеченні безпечної та ефективної роботи акумуляторів. BMS моніторять стан кожної комірки, захищають від перевантажень, коротких замикань та перегріву. Розвиток розумних BMS дозволяє оптимізувати роботу акумуляторних систем та підвищити їхній термін служби.

Інтеграція з відновлюваними джерелами енергії є одним з ключових напрямків розвитку автономних систем живлення. Сонячні панелі, вітрові турбіни та гідроелектростанції дозволяють отримувати чисту енергію та зменшувати залежність від традиційних джерел.

2 СТРУКТУРНА СХЕМА ТА КОМПОНЕНТИ СИСТЕМИ

Принципово мобільні системи автономного живлення значно відрізняються від стаціонарних систем у своїй конструкції. Основні відмінності полягають у способах взаємодії блоків перетворювачів. У мобільних системах блоки перетворювачів можуть бути розташовані як на одній платі, так і на декількох окремих платах. Це дає можливість гнучкого налаштування системи під конкретні вимоги та умови експлуатації. Крім того, блок живлення для таких систем може бути зовнішнім, що дозволяє значно зменшити вагу пристрою під час його використання, що є критично важливим фактором для мобільних рішень.

Ще однією важливою особливістю мобільних систем автономного живлення є можливість виготовлення пристроїв з різними параметрами, при цьому зберігаючи незмінний корпус. Це означає, що внутрішні компоненти можуть бути адаптовані для різних умов і потреб без необхідності зміни зовнішнього вигляду пристрою. Така модульність і гнучкість конструкції дозволяють забезпечити оптимальну продуктивність і ефективність при мінімальних витратах на модифікацію та інтеграцію.

2.1 Структурна блок схема мобільних систем автономного живлення

Для більш детального огляду була наведена структурна блок-схема мобільної системи автономного живлення на (рис. 2.1). Ця схема відображає основні компоненти системи та їх взаємодію. Опираючись на цю схему, можна визначити основні принципи роботи цієї системи.

Структурна блок-схема є важливим інструментом для розуміння функціонування мобільної системи автономного живлення. Вона показує, як різні компоненти взаємодіють між собою, забезпечуючи ефективне і надійне енергопостачання пристрою.

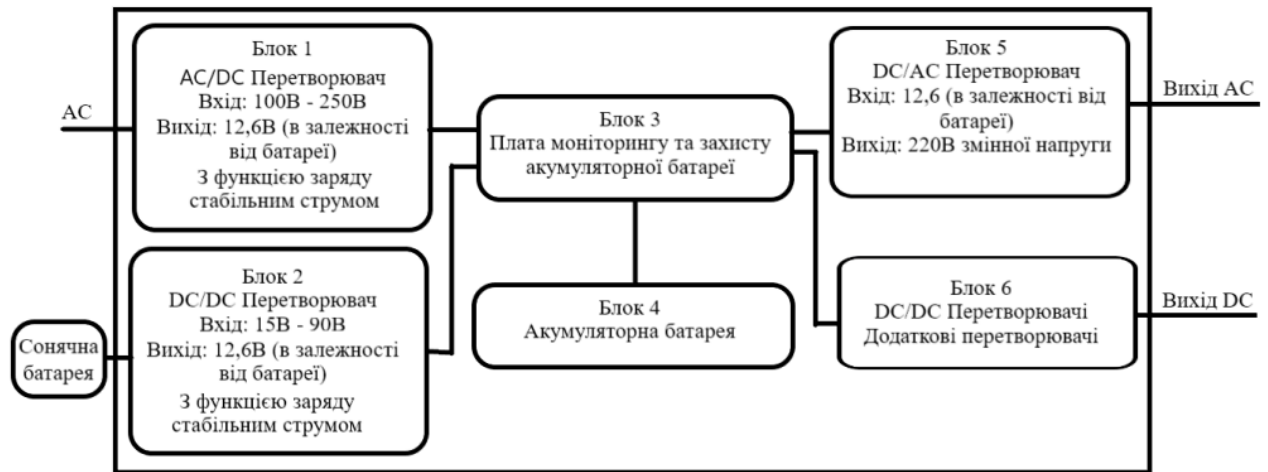


Рисунок 2.1 - Структурна блок схема мобільних систем автономного живлення

Основні компоненти системи включають:

Блок 1: Головний блок живлення відповідає за правильну зарядку акумуляторної батареї. Він підібраний відповідно до типу та технічних параметрів акумулятора, що гарантує оптимальні умови зарядки і довготривалу роботу батареї. Блок живлення забезпечує стабільний струм зарядки, що дозволяє акумулятору безпечно заряджатися і мінімізує ризик перегрівання або пошкодження. Блок живлення налаштований відповідно до специфікацій конкретного акумулятора, що використовує система, оскільки акумулятори можуть бути на 12В, 24В, 36В, 48В та 72В. Графік заряду, відображений на (рис. 2.2), демонструє етапи процесу зарядки та показники струму і напруги на кожному з них.

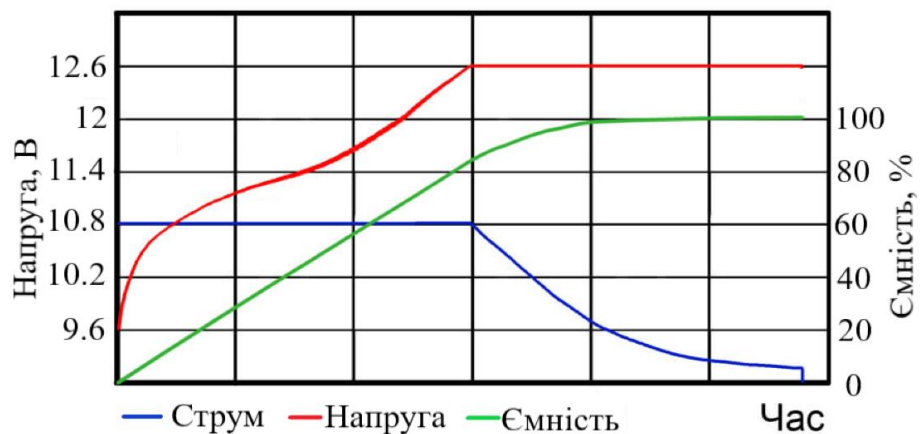


Рисунок 2.2 – Графік заряду Li-ion збірки 3s

Блок живлення може бути як вбудованим у конструкцію пристрою, так і зовнішнім. Вибір між вбудованим і зовнішнім блоком залежить від конкретних потреб і умов експлуатації. Вбудований блок зручний для компактних і портативних рішень, тоді як зовнішній блок може забезпечити більшу допустиму потужність заряджання без збільшення ваги основного пристрою.

Блоки живлення мають різну потужність та із-за цього вони мають різну топологію та кількість транзисторних ключів. Існує кілька типів імпульсних блоків живлення, зокрема мостові, напівмостові та прямохідні перетворювачі. Кожен тип має свої характеристики та сфери застосування. Більш детально про кожен тип:

Мостовий перетворювач (повномостовий) перетворювач, є типом імпульсного джерела живлення, який використовує топологію з чотирма перемикачами (рис. 2.3). Він складається з чотирьох силових ключів (зазвичай біполярних транзисторів з ізольованим затвором або IGBT), розташованих в мостовій конфігурації. Мостовий перетворювач може генерувати імпульси високої потужності шляхом почергового перемикання силових ключів. Цей тип перетворювачів зазвичай використовується в таких системах де необхідна потужність джерела живлення становить більше 1,5 кВт. Таке джерело живлення забезпечує контроль над напругою та струмом у вихідному колі. Це дозволяє регулювати параметри живлення залежно від вимог конкретного пристрою чи системи за допомогою зміни ширини імпульсів сигналу керування.

Мостові блоки живлення мають низьке падіння напруги, що означає, що втрати напруги при перетворенні є мінімальними.

Одним з обмежень при побудові мостових блоків живлення є складність контролю та комутації комутаційних елементів. Комутація повинна бути керована з високою точністю та швидкістю, щоб забезпечити правильну послідовність включення і виключення комутаційних елементів[12,13].

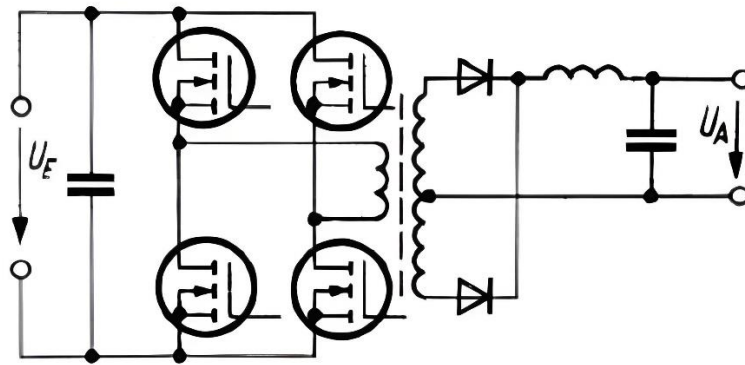


Рисунок 2.3 – Відображення ввімкнення транзисторних ключів за мостовою схемою перетворювача

Напівмостові імпульсні блоки живлення є одним з простих та економічних варіантів імпульсного живлення. Вони використовують лише два транзистори або МОС-структури для комутації струму (рис. 2.4). Цей тип блоку живлення дозволяє забезпечити генерацію змінного струму, але з меншою потужністю порівняно з мостовими схемами. У напівмостових блоках живлення один транзистор працює в режимі відкритого ключа, а інший - в режимі закритого ключа. Перемикання між цими режимами відбувається з високою швидкістю, що дозволяє отримати змінний струм на виході. Напівмостовий перетворювач широко використовується в приладах, де потрібні середні рівні потужності до 1,5 кВт[12,13].

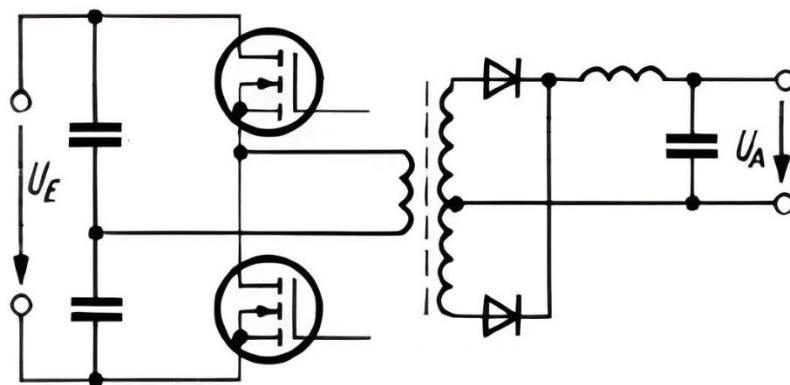


Рисунок 2.4 – Відображення ввімкнення транзисторних ключів за напівмостовою схемою перетворювача

Основні компоненти напівмостового блока живлення включають:

а) два транзистори (зазвичай MOSFET) – один нижній і один верхній, які працюють як перемикачі. Ці транзистори керують подачею струму на навантаження в залежності від керуючого сигналу;

б) два діоди – один нижній і один верхній, які встановлюються паралельно з транзисторами, щоб утворити траєкторію для зміни напрямку струму;

в) напівмостовий блок живлення керується спеціальними пристроями (наприклад, мікроконтролером або ІС-генератором) для керування відкриттям і закриттям транзисторів.

Переваги напівмостових блоків живлення:

а) вони мають високу ефективність, що дозволяє економити енергію та знижувати втрати під час перетворення енергії з постійного струму на змінний за рахунок високої частоти роботи;

б) мають меншу кількість комутаційних елементів порівняно з мостовими блоками, що спрощує їх конструкцію та знижує витрати на виробництво;

в) завдяки простоті конструкції та меншій кількості елементів, напівмостові блоки живлення зазвичай є більш економічними у порівнянні з іншими типами блоків живлення;

г) застосування меншої кількості комутаційних елементів може сприяти підвищенню надійності напівмостових блоків живлення, оскільки менше елементів означає меншу ймовірність виникнення поломок.

Прямохідний перетворювач – це ще один тип імпульсного джерела живлення, який працює з трансформатором. Він використовує трансформатор для передачі енергії від входу до виходу. Прямий перетворювач включає в себе перемикач, діод і котушку індуктивності, а також трансформатор (рис. 2.5).

Він забезпечує ізоляцію між вхідною і вихідною частинами і зазвичай використовується в таких пристроях, як підсилювачі потужності, джерела безперебійного живлення (ДБЖ) і телекомунікаційне обладнання малої потужності приблизно до 150Вт. Вони є простими у використанні та мають ефективний коефіцієнт перетворення[12,13].

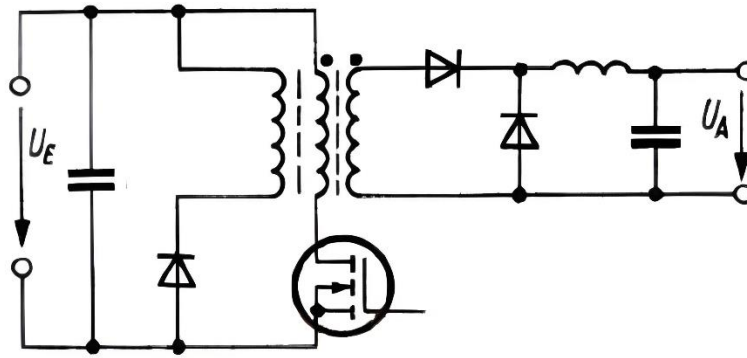


Рисунок 2.5 – Відображення ввімкнення транзисторних ключів за схемою прямого перетворювача

Прямохідні блоки живлення зазвичай мають компактні розміри і низьку вагу. Це робить їх популярними для застосувань, де важлива мала зайнята площа і портативність, наприклад, в електроніці споживачів, мобільних пристроях і телекомунікаційних системах.

Ці блоки живлення характеризуються високою надійністю і стабільністю роботи. Вони можуть забезпечувати стабільний вихідний струм та напругу, що дозволяє ефективно жити підключені пристрої і запобігати можливим пошкодженням.

Також вони можуть мати широкий діапазон вихідних параметрів, таких як напруга та струм. Це дозволяє їх використовувати в різних пристроях з різними вимогами до живлення

Блок 2 DC/DC Перетворювач, також відомий як MPPT (Maximum Power Point Tracking) контролер заряду, використовується для зарядки акумулятора від сонячної панелі. Цей контролер забезпечує максимальну ефективність зарядки шляхом оптимізації використання енергії, що виробляється сонячною панеллю.

MPPT контролер заряду має обмеження за максимальним рівнем вхідної напруги, що визначається його типом і технічними характеристиками. Це важливо для забезпечення безпеки та стабільності роботи системи, оскільки перевищення допустимих значень напруги може призвести до пошкодження обладнання.

Основний принцип роботи MPPT контролера полягає в наступному: він постійно аналізує вихідну напругу та струм, знаходячи точку максимальної потужності (MPP) – оптимальне співвідношення напруги та струму, при якому сонячна панель може виробляти найбільшу кількість енергії.

Блок 3 Система управління акумулятором (рис.2.6) (Battery Management System, BMS) є ключовим компонентом акумуляторної системи, що забезпечує її ефективну, безпечну та довговічну роботу. Одним із основних завдань BMS є захист акумулятора від небезпечних умов експлуатації, таких як перевантаження, короткі замикання та перегрів.

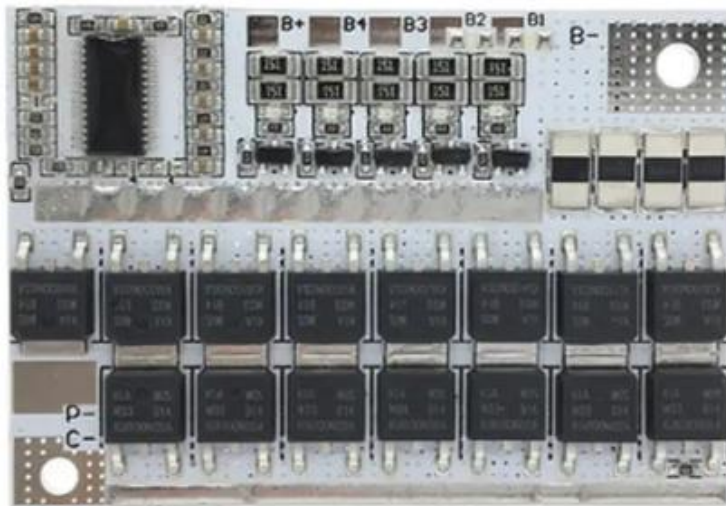


Рисунок 2.6 – Система керування акумулятором

Схема системи керування акумулятора (BMS)(рис. 2.7) складається з:

а) мікроконтролер: Це "мозок" системи, який контролює роботу всіх інших компонентів. Він обробляє дані з датчиків, керує зарядкою та розрядкою батареї, і забезпечує захист від перевантаження та інших небажаних ситуацій.

б) датчики напруги: Вимірюють напругу на кожному елементі батареї. Це дозволяє контролювати стан кожного окремого елемента і забезпечувати рівномірний заряд та розряд всієї батареї.

в) датчики струму: Вимірюють струм, що проходить через батарею. Це важливо для визначення рівня заряду та розряду, а також для виявлення можливих проблем, таких як перевантаження або коротке замикання.

г) датчики температури: Вимірюють температуру кожного елемента батареї та навколишнього середовища. Це дозволяє уникнути перегріву, який може призвести до пошкодження батареї або навіть її вибуху.

д) балансувальні схеми: Забезпечують рівномірний заряд та розряд кожного елемента батареї.

е) захисні схеми: Включають в себе набір транзисторів, їх кількість залежить від струму який проходить через плату.

є) комунікаційний інтерфейс: Дозволяє платі BMS зв'язуватися з іншими системами, такими як зарядний пристрій або контролер електричного транспортного засобу. Це може бути CAN-шина, UART, I2C або інший інтерфейс. Такий комунікаційний інтерфейс зустрічається тільки в smart BMS оскільки вони обладнанні мікропроцесором.

ж) пам'ять: Також зустрічається тільки в smart BMS, вона зберігає дані про стан батареї, історію зарядок та розрядок, а також інші важливі параметри. Це допомагає в діагностиці та обслуговуванні батареї.

Живлення енергією усіх компонентів плати BMS, безпосередньо відбувається за допомогою акумуляторної батареї.

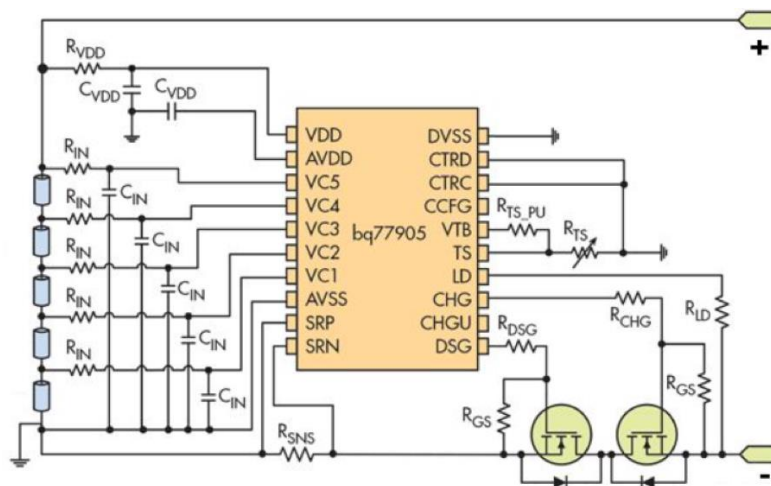


Рисунок 2.7 – Принципова схема BMS

Блок 4 Акумуляторна батарея є ключовим компонентом мобільних систем автономного живлення. Зазвичай у таких системах напруга не перевищує 12В або 24В, оскільки вихідна потужність не є дуже високою – до 1кВт для 12В систем і до 2,2кВт для 24В систем. Такий вибір напруги обумовлений кількома важливими причинами.

Напруга до 24В вважається відносно безпечною для користувачів, оскільки ризик ураження електричним струмом при такій напрузі значно нижчий порівняно з вищими напругами. Акумулятори з напругою 12В і 24В мають невеликі габаритні розміри і вагу, що важливо для мобільних пристроїв. Легкі і компактні батареї дозволяють забезпечити портативність і зручність використання систем автономного живлення.

Вихідна потужність до 1кВт для 12В систем і до 2,2кВт для 24В систем є достатньою для більшості задач котрі можна виконати. Це забезпечує ефективну роботу системи при мінімальних витратах енергії і ресурсів. Акумуляторні батареї у таких системах зазвичай виготовляються з літій-іонних або літій-полімерних елементів, які відомі своєю високою ємністю, довговічністю і низькою вагою. Вони здатні забезпечувати стабільне живлення протягом тривалого часу, що робить їх ідеальним вибором для мобільних рішень.

Блок 5 DC/AC Перетворювач (інвертор) це пристрій, який перетворює постійний струм (DC), що надходить від акумуляторної батареї або іншого джерела постійної напруги, у змінний струм (AC), необхідний для живлення багатьох електронних приладів. Інвертори використовуються в різних системах живлення, зокрема в мобільних і стаціонарних системах автономного живлення.

Інвертори мають кілька ключових характеристик, що визначають їхню продуктивність і застосування. Вихідна напруга та частота: Інвертори зазвичай перетворюють постійну напругу, наприклад 12В або 24В, у змінну напругу 110В або 220В з частотою 50Гц або 60Гц, в залежності від регіону і вимог електроприладів. Вихідний змінний струм може мати різні форми хвилі, такі як синусоїдна, модифікована синусоїдна або прямокутна хвиля. Синусоїдна хвиля

є найкращою, оскільки вона забезпечує стабільне живлення для більшості приладів і не створює перешкод[14].

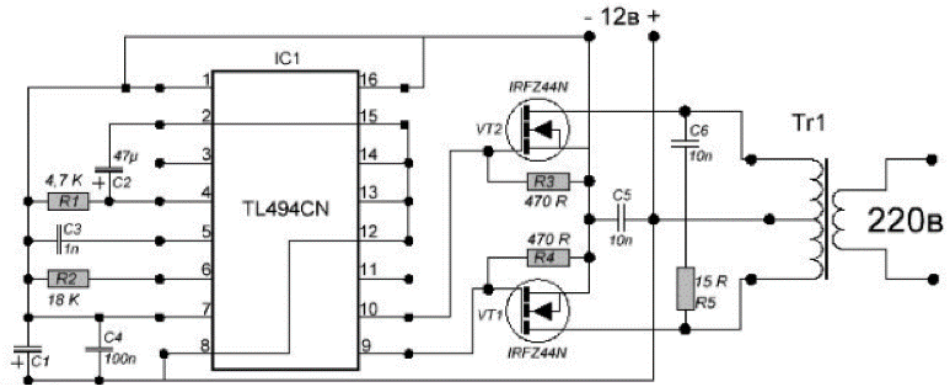


Рисунок 2.8 – Схема інвертора з прямокутною хвилею на виході

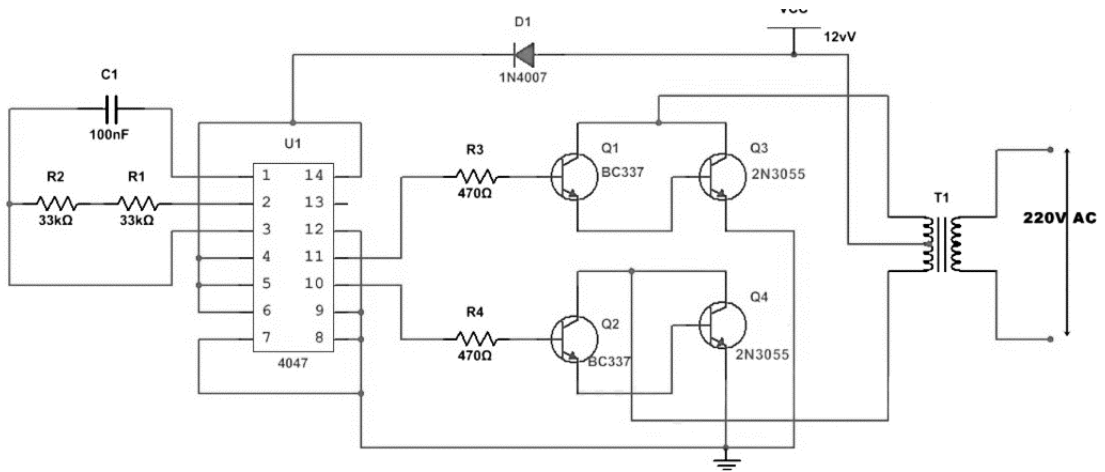


Рисунок 2.9 – Схема інвертора з модифікованою синусоїдальною формою

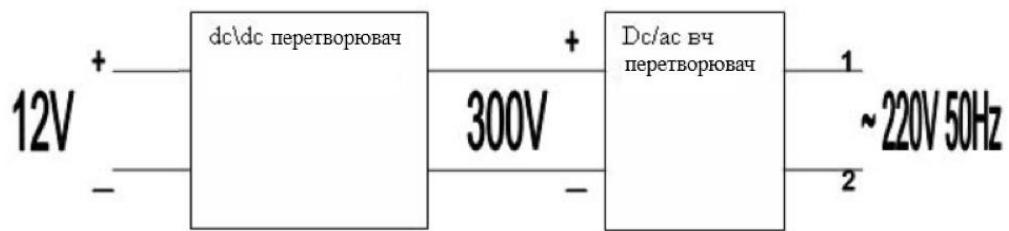


Рисунок 2.10 – Блок схема інвертора з синусоїдальним сигналом на виході

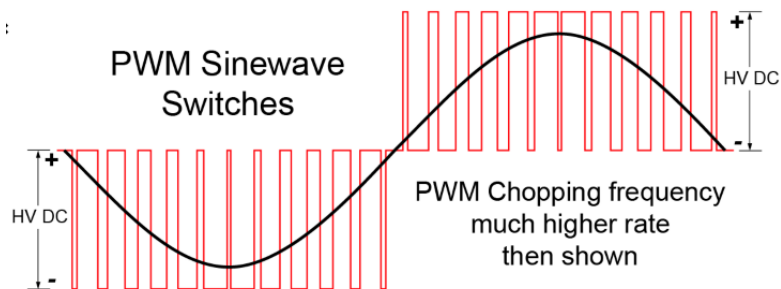


Рисунок 2.11 – Утворення синусоїдальної хвилі

Блок 6 Додаткові DC/DC перетворювачі, вони використовуються безпосередньо для живлення пристроїв, таких як телефони та ноутбуки без додаткових перетворень енергії. Оскільки за такого способу живлення відбувається одне перетворення напруги ніж якщо б було перетворення через інвертор у змінний струм після чого знову ж перетворення блоком живлення підключеного пристрою.

Для зарядки гаджетів таких як телефони та інші прилади котрі можуть працювати від інтерфейсу USB A існують модулі з підтримкою QC (швидкою зарядкою) котрі мають вихідну потужність як 18Вт (рис. 2.12а) так і більш потужні модулі з потужністю 65Вт (рис.2.12б).

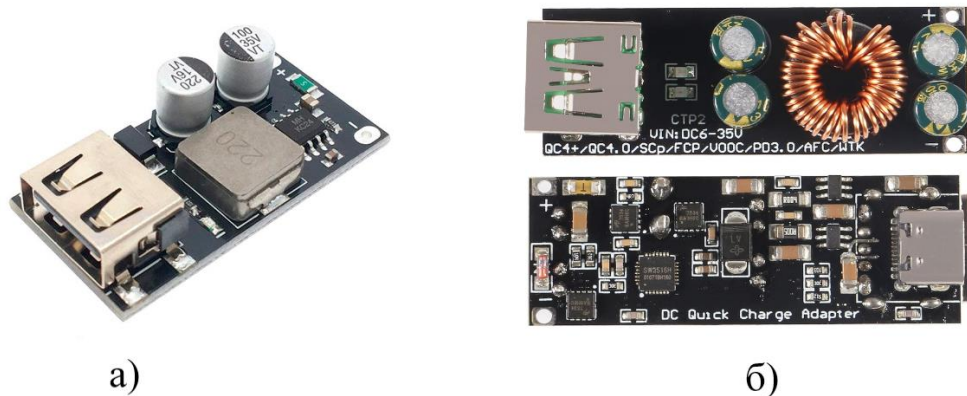


Рисунок 2.12 – Приклади модулів швидкої зарядки

Однак для більшої вихідної потужності інтерфейс USB A не підходить, тому для модулів які є потужніші і використовуються для заряджання ноутбуку використовуються модулі з роз'ємом USB Type C та протоколом PD. З в такій конфігурації існують модулі з потужністю від 100 до 140Вт (рис. 2.13). Але на відміну від вище зазначених модулів котрі можуть тільки знижувати напругу і напруга на виході не може перевищувати напругу джерела живлення, цей модуль може як знижувати так і підвищувати напругу до необхідної не залежно від джерела живлення. Даний модуль обмежений максимальною потужністю 100Вт або 20V та 5A на виході[15].

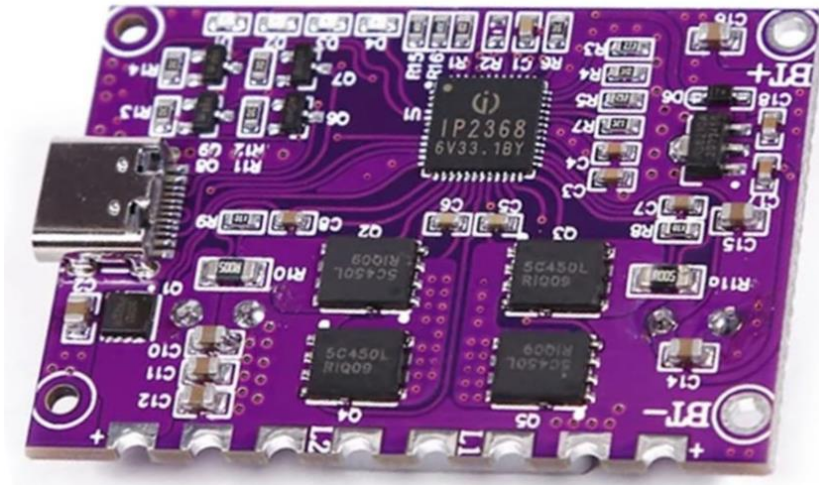


Рисунок 2.13 – Модуль зарядки 100Вт

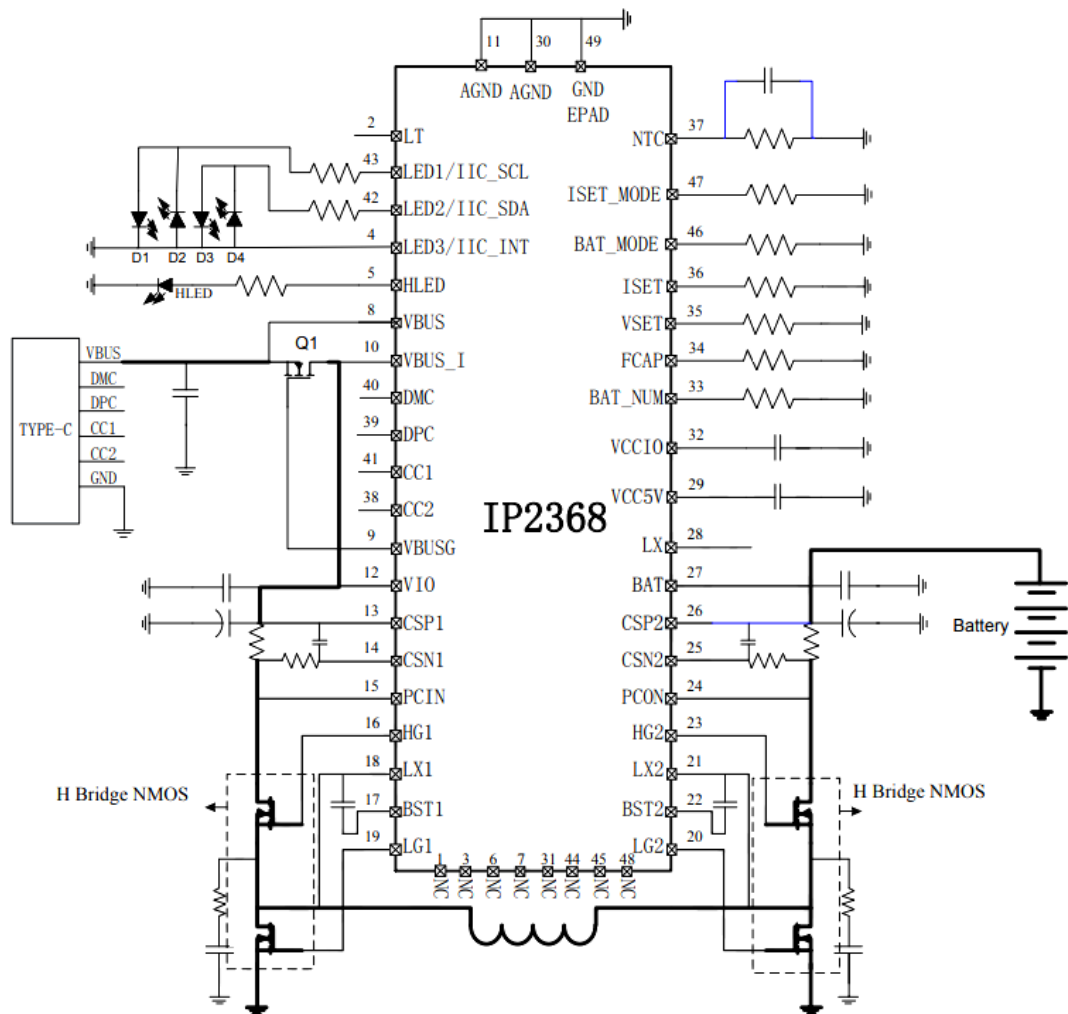


Рисунок 2.14 – Схема модуля перетворювача 100Вт

Використання готових модулів значно скорочують вартість пристрою та надає перевагу в більш зручній заміні готового стандартного модуля на інший при виході такого з ладу.

2.2 Структурна блок схема стаціонарної системи автономного живлення

Основною відмінністю стаціонарної системи є те що вона не має додаткових перетворювачів для гаджетів, та відрізняється більш простою структурою (рис.2.15), але для роботи такої системи необхідні мікропроцесор котрий буде синхронізувати роботу окремих блоків та блоків котрі мають подвійний функціонал (рис.2.16).

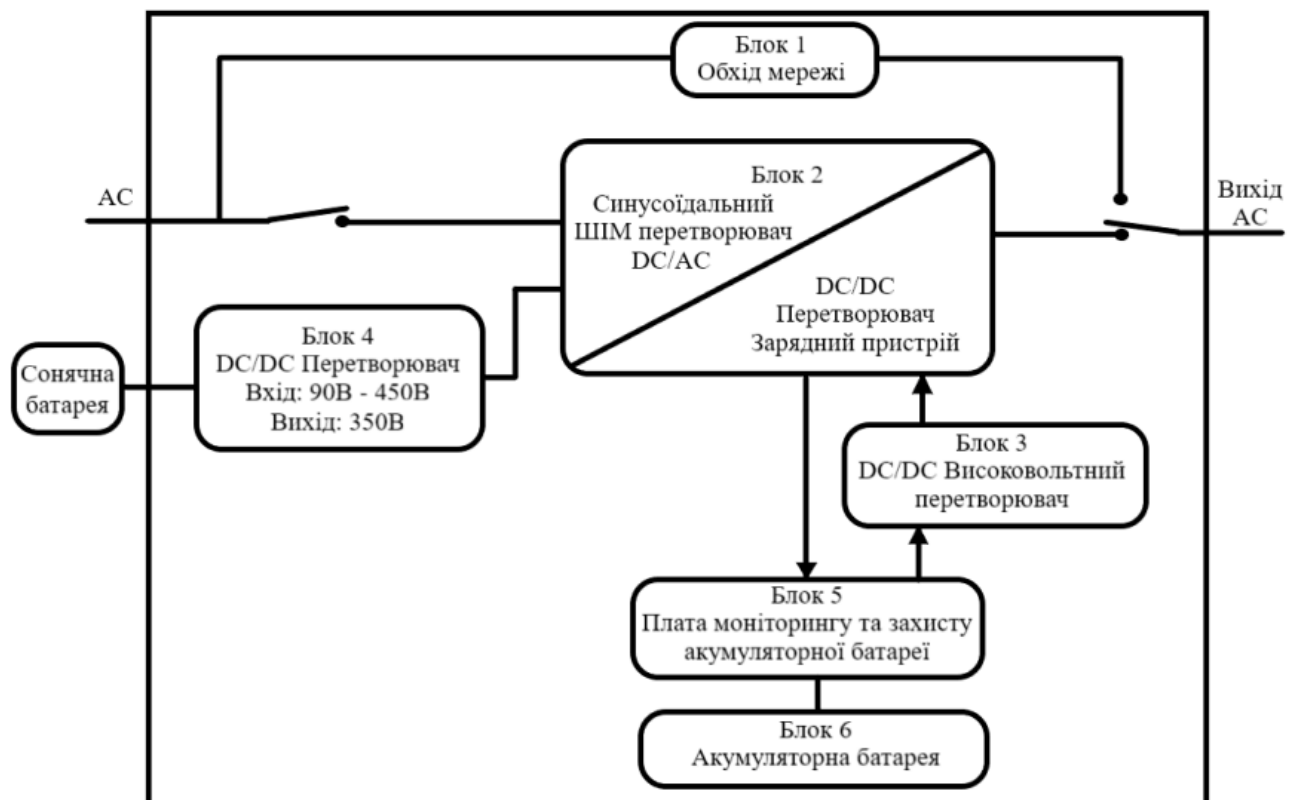


Рисунок 2.15 – Блок схема стаціонарної системи автономного живлення

Для більш детального огляду було розглянуто схему такого пристрою та описано блоки які раніше не зустрічалися або мають трішки інший функціонал.

Блок 1 Обхід мережі (bypass) – це функція або механізм в електричних системах, який дозволяє тимчасово або постійно обходити певний компонент або секцію системи.

Ця функція дозволяє підключити навантаження безпосередньо до джерела живлення, оминаючи інвертор або інші компоненти, що можуть бути присутніми в системі. В обхідному режимі електричний струм проходить по альтернативному шляху, який забезпечує стабільне живлення незалежно від стану основних компонентів системи.

Блок 2 Він відповідає за генерацію ШІМ сигналу для перетворення його в синусоїдальний сигнал коли відсутня мережа, це виконують 4 транзистори але якщо мережа є та необхідно заряджати пристрій вони закриті і працюють вбудовані діоди що робить їх діодною збіркою. Після чого напруга надходить на частину котра понижує напругу до акумуляторної та синхронний випрямляч (рис.2.16).

Коли мережа відсутня то схема працює в зворотному напрямку і після підвищення напруги до межі від 340В до 450В вона випрямляється синхронним випрямлячем, далі транзистор що відповідає за зарядку переходить в режим ключа дозволяючи напрузі пройти далі від батареї. Після чого транзистори, що виконували роботу діодного мосту генерують ШІМ для отримання синусоїдально сигналу на виході.

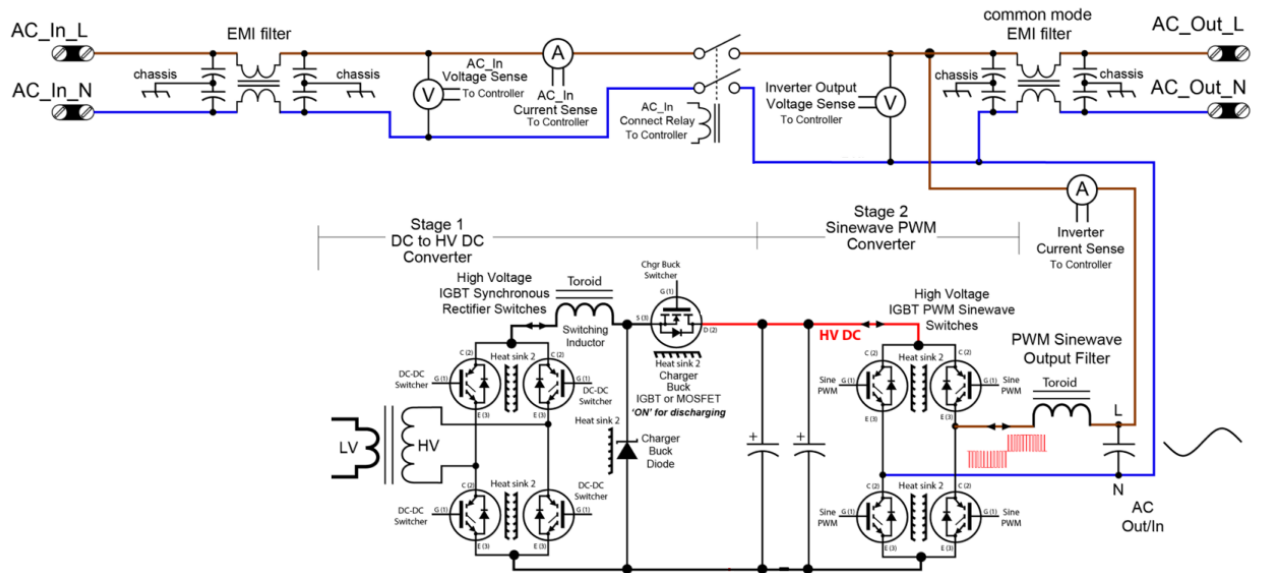


Рисунок 2.16 – Рисунок схема блоку 2

Блок 3 DC/DC високовольтний перетворювач, він виконує перетворення з батареїної напруги в стабільну напругу в діапазоні від 340В до 450В (рис 2.17).

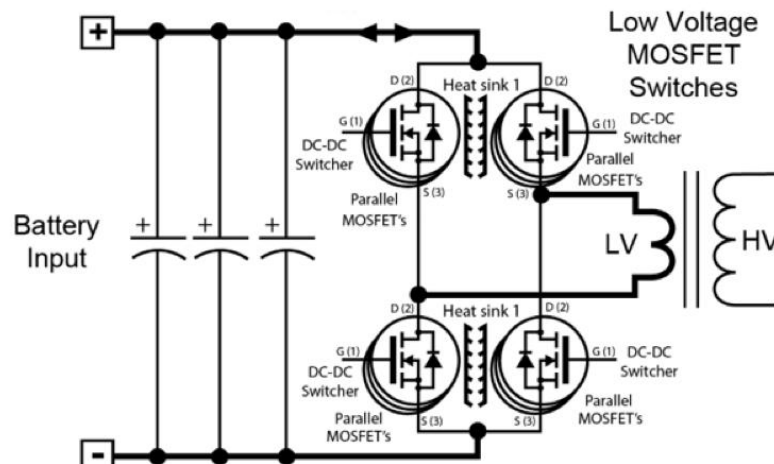


Рисунок 2.17 – Перетворювач з низької в високу напругу

Блок 4 DC/DC Перетворювач на відміну від мобільних джерел автономного живлення де безпосередньо відбувалась зарядка акумулятору від сонячної панелі за допомогою понижуючого модуля. В стаціонарних системах (рис. 2.18) навпаки напруга з сонячних панелей підвищується до межі від 340 до 450В де вона може як заряджати акумулятори разом з мережею оскільки підключені до одного вузла. Так і при відсутності мережі при достатній

потужності від сонячних панелей виконувати як заряд акумулятора так і живлення мережевих приладів. Або при недостатній потужності сонячних панелей працювати в парі з акумуляторною батареєю.

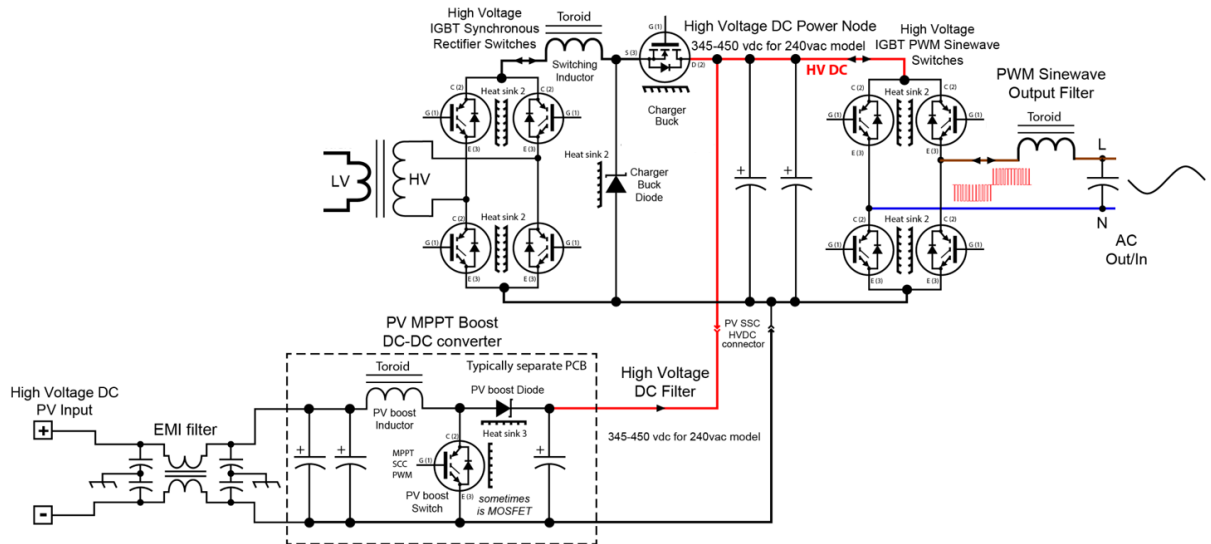


Рисунок 2.18 – Система роботи від сонячної панелі

2.3 Висновки

Мобільні системи характеризуються компактністю, гнучкістю та портативністю, що робить їх ідеальними для використання в польових умовах, під час подорожей або в місцях з нестабільним електропостачанням. Вони забезпечують автономне живлення у тих випадках, коли доступ до стаціонарної мережі обмежений або відсутній.

На відміну від мобільних систем, стаціонарні системи зазвичай мають більшу потужність і призначені для забезпечення енергією будинків, підприємств або невеликих населених пунктів. Вони можуть використовуватися як основне джерело енергії або як резервне у разі перебоїв в основній електромережі. Такі системи надають стабільне і надійне живлення для широкого спектру споживачів.

Ключовими компонентами обох типів систем є акумуляторні батареї, які служать для накопичення енергії. Інвертори виконують функцію перетворення

постійного струму від акумулятора на змінний, необхідний для живлення побутових приладів. Контролери заряду оптимізують процес заряджання акумуляторів від сонячних панелей та інших джерел енергії, забезпечуючи максимальну ефективність та довговічність батарей. Системи управління батареями (BMS) забезпечують безпечну та ефективну роботу акумулятора, контролюючи його стан та захищаючи від перевантаження і перегріву.

Основні відмінності між мобільними та стаціонарними системами включають модульність мобільних систем, що дозволяє легко замінювати або додавати компоненти. Мобільні системи відрізняються компактністю та легкістю, що робить їх зручними для транспортування та використання в різних умовах. Водночас стаціонарні системи мають більшу потужність і часто включають додаткові функції, такі як підключення до мережі та підтримка різних режимів роботи. Це робить їх придатними для забезпечення стабільного енергопостачання у більших масштабах.

3 РОЗРОБКА ПОРТАТИВНОЇ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ

3.1 Розробка блок схеми портативної автономної системи живлення

Для розробки портативної автономної системи живлення були визначені наступні завдання. Перш за все, потрібно забезпечити малу вагу пристрою, що є важливим для зручності його перенесення і використання в різних умовах. Легка конструкція дозволяє зменшити навантаження на користувача і підвищити мобільність системи.

Наступним важливим завданням є наявність портів для зарядки мобільних пристроїв. Це включає в себе порти USB та інші інтерфейси, які забезпечують можливість зарядки смартфонів, планшетів і інших портативних гаджетів. Забезпечення таких портів робить систему більш універсальною і зручною у використанні.

Крім того, система повинна мати окремий вихід для підключення інвертора. Інвертор дозволяє перетворювати постійну напругу акумулятора у змінну напругу, що необхідна для живлення багатьох електронних приладів. Окремий вихід забезпечує гнучкість у використанні системи з різними типами обладнання.

Одним з важливих аспектів є універсальний вихід з регульованою напругою для підключення ноутбуків або інших приладів з напругою живлення від 15В до 60В. Регульована напруга дозволяє адаптувати систему до різних вимог споживачів, що робить її більш гнучкою і придатною для широкого спектру застосувань.

Система також повинна включати модуль зарядки акумулятора, який може працювати в широкому діапазоні вхідної напруги від 13В до 40В. Це дозволяє використовувати будь-який зарядний пристрій, починаючи від комплектного

блока живлення ноутбука і закінчуючи будь-яким універсальним блоком живлення. Можливість регулювання струму заряду відносно потужності блока живлення забезпечує ефективну і безпечну зарядку акумулятора без ризику перевантаження або перегріву як блоку живлення так і акумуляторної батареї.

Основним аспектом системи є акумуляторна батарея вона була підібрана з розрахунку споживання ноутбука та роботи близько 10 годин на максимальній потужності. Також завдяки підбраній батареї з BMS є можливість підключення інвертора потужністю до 1кВт.

Виходячи з вищезазначених пунктів була розроблена блок схема увімкнення та взаємодії елементів між собою (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Блок схема майбутньої портативної системи живлення

Для зменшення ваги та компактності пристрою зарядний пристрій (Блок 1) зроблено зовнішнім. Це дозволяє не тільки зменшити загальну масу системи, але й забезпечити її більш зручне використання в різних умовах. Крім того, інвертор (Блок 7) також не є вбудованим, оскільки він не використовується на постійній основі і його зовнішнє розташування дозволяє знизити вагу основного пристрою.

Також, для зменшення кількості елементів у схемі, Блок 2 виконує функцію зарядки акумулятора з різних джерел. Це може бути як зовнішній блок живлення, так і сонячна батарея. Такий підхід дозволяє спростити конструкцію системи та підвищити її універсальність, забезпечуючи можливість зарядки у різних умовах і з використанням різних джерел енергії.

Таким чином, зменшення ваги та компактності системи, а також оптимізація її конструкції через використання зовнішніх компонентів і багатоцільових блоків зарядки, сприяє підвищенню ефективності та зручності експлуатації портативної автономної системи живлення.

3.2 Складові пристрою та їх параметри

Для побудови портативної системи живлення виходячи з майбутніх розмірів було обрано акумуляторні елементи Li-ion LG Chem e63 (рис. 3.2), оскільки вони володіють наступними параметрами (табл. 3.1)[16]:

Таблиця 3.1 – Характеристики LG Chem e63

Параметри	Характеристика
Щільність енергії, Вт·год/кг	251
Ємність на розряд, А·год	64
Номінальна напруга, В	3,6
Робоча напруга, В	Від 2,5 до 4,25
Струм розряду(короткочасний 30с.), А	180
Струм розряду (тривалий 10хв.) , А	120
Струм розряду (номінальний) , А	60
Струм заряду (номінальний) , А	30
Внутрішній опір, мОм	0,7
Товщина, мм	11,5
Ширина, мм	125
Висота (без клем), мм	325
Вага, грам	929

Для створення напруги при якій будуть працювати усі модулі в пристрою було обрано 3 послідовно підключені елементи, із-за чого напруга збірки становить 10,8В та щільність енергії усієї збірки 690 Вт·год.



Рисунок 3.2 – Один елемент LG Chem e63

Наступним є модуль DC-DC step down 300W (рис. 3.3) котрий використовується для зарядки пристрою та наступні параметри наведені в таблиці 3.2.

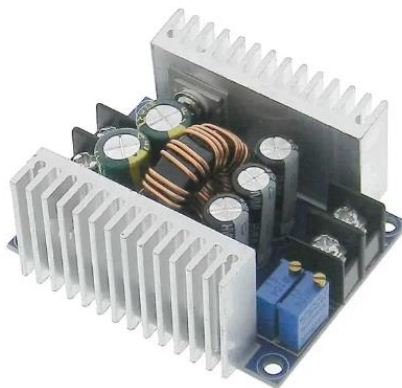


Рисунок 3.3 - модуль DC-DC step down

Таблиця 3.2 – Параметри модуля DC-DC step down

Параметри	Характеристики
Вхідна напруга, В	Від 6 до 40
Вихідна напруга, В	Від 1,2 до 36
Потужність, Вт	300
Вихідний струм (максимальний), А	20
ККД, %	95
Робоча частота, кГц	180

Цей модуль побудований на мікросхемі LM5116 – це вдосконалена інтегральна схема (IC) синхронного перетворювача (рис. 3.4), призначена для ефективного перетворення пониженої напруги в різних схемах. Вона працює шляхом регулювання вихідної напруги за допомогою синхронного випрямлення з використанням як високовольтних, так і низьковольтних MOSFET транзисторів.

Мікросхема підтримує широкий діапазон вхідної напруги від 4,5 В до 75 В, забезпечуючи гнучкість для різних схем живлення. Вона дозволяє програмувати частоту і фазу, що дає змогу регулювати частоту перемикання і можливість багатозафазної роботи. Мікросхема має вбудовані функції захисту, такі як захист від перевантаження, захист від короткого замикання, захист від перегрівання. Крім того, вона надає можливість налаштування параметрів блоку живлення, таких як частота комутації та керування плавним пуском. LM5116 підтримує синхронну та асинхронну роботу, що дозволяє вибрати найбільш підходящий режим роботи[17].

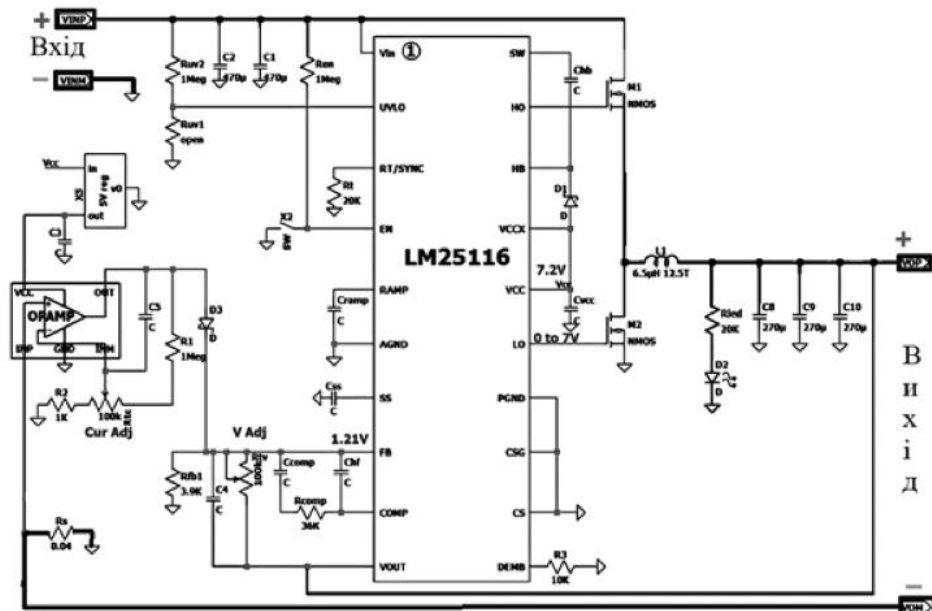


Рисунок 3.4 – Принципова схема побудована на LM5116

Мікросхема LM5116 має два основних канали: верхній та нижній. Кожен з цих каналів складається з MOSFET-транзистора та відповідного драйвера. Верхній канал керує верхнім MOSFET-транзистором, який відповідає за комутацію позитивної половини вихідного напруги, тоді як нижній канал керує нижнім MOSFET-транзистором для комутації негативної половини вихідного напруги.

Процес комутації відбувається за допомогою зміни стану MOSFET-транзисторів. При високому рівні на вході драйвера відповідний MOSFET-транзистор ввімкнений, дозволяючи проходити струму через нього. При низькому рівні на вході драйвера транзистор вимкнений, блокуючи струмовий шлях.

Одна з особливостей LM5116 полягає в тому, що вона підтримує синхронну комутацію, що означає, що верхній і нижній транзистори не комутуються одночасно, щоб уникнути короткого замикання. Замість цього, під час комутації верхнього транзистора нижній транзистор вимикається, а під час комутації нижнього транзистора верхній транзистор вимикається. Це дозволяє ефективніше використовувати енергію та зменшує втрати потужності (рис. 3.5).

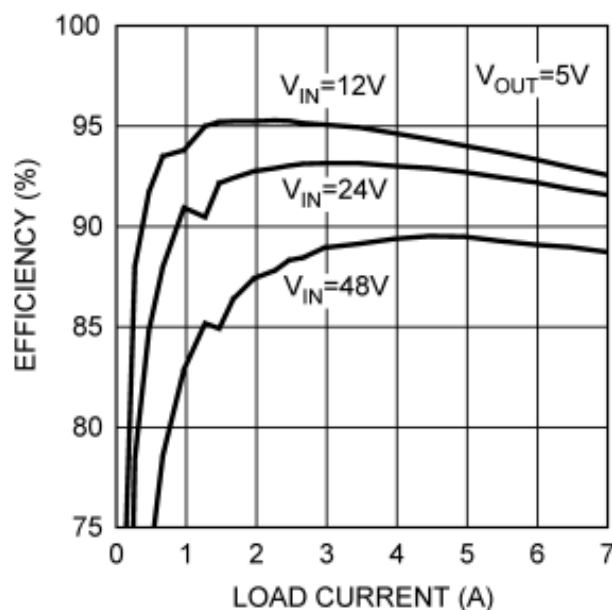


Рисунок 3.5 – Графіки залежності ККД від навантаження для LM5116

Основним не описаним раніше перетворювачем є підвищувальний перетворювач котрий базується на мікросхемі TL494(рис.3.6). Він має наступні характеристики(табл.3.3):

Таблиця 3.3 – Параметри DC-DC step up модуля

Параметри	Характеристики
Вхідна напруга, В	Від 8,5 до 50
Вхідна напруга, В	Від 10 до 60
Вхідний струм(максимальний), А	15
Вихідний струм, А	Від 0,2 до 12
ККД, %	92

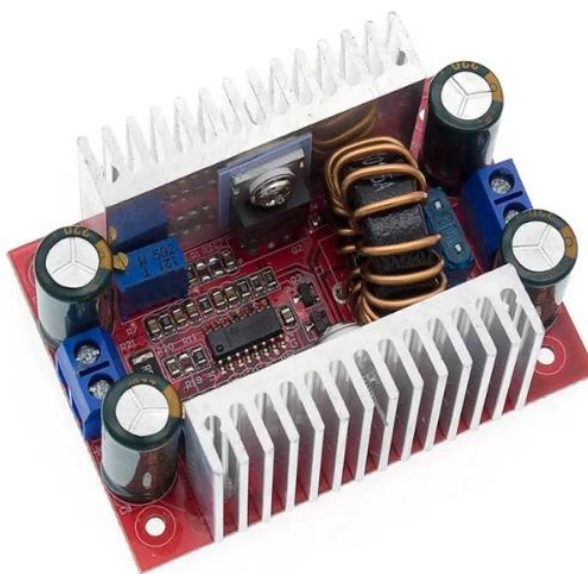


Рисунок 3.6 – Підвищуючи модуль

3.3 Компонування в корпусі елементів

Використовуючи вище зазначені модулі їх було розміщено в корпусі (рис 3.7, рис. 3.8) та підключено опираючись на блок схему. Після чого було проведено перевірку на праце спроможність та не виявлено дефектів у роботі.

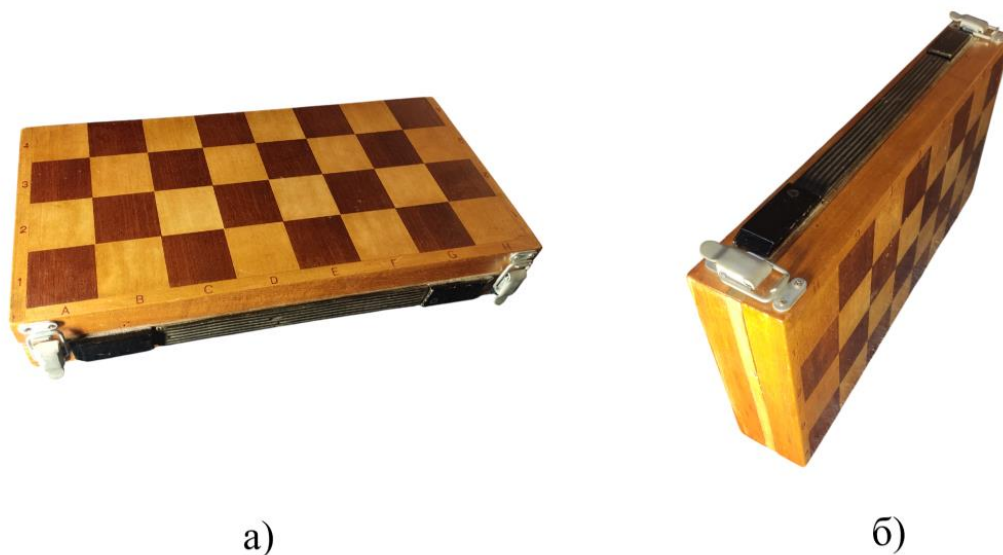


Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд пристрою

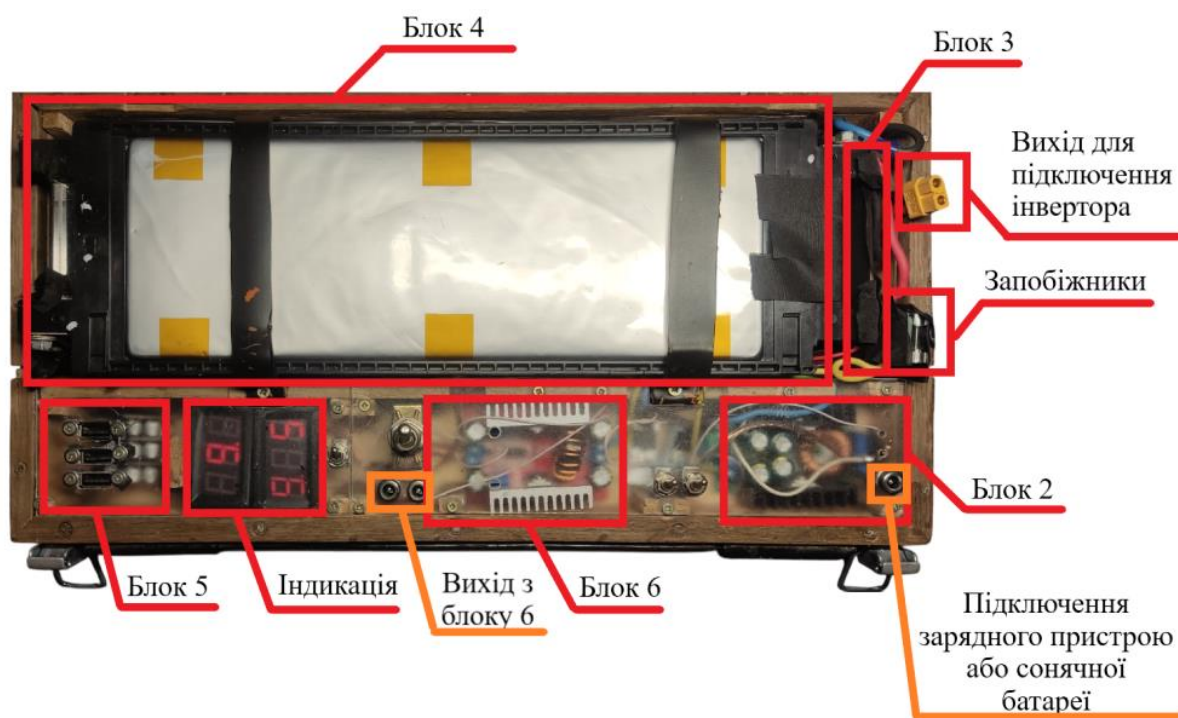


Рисунок 3.8 – Розміщення елементів в корпусі

Блок 2 – DC/DC Перетворювач для заряду акумуляторної батареї;

Блок 3 – BMS, плата захисту акумуляторної батареї;

Блок 4 – Акумуляторна батарея;

Блок 5 – Додаткові DC/DC перетворювачі;

Блок 6 – Основний регульований DC/DC підвищувальний перетворювач.

Розміри даного пристрою становлять: товщина 65мм, ширина 200мм, довжина 400мм. Вага пристрою становить 4,65 кг.

3.4 Висновки

Розроблена портативна автономна система живлення є легкою, компактною та зручною у використанні. Вона оснащена портами для зарядки мобільних пристроїв, універсальним виходом для ноутбуків та окремим виходом для інвертора. Модуль зарядки акумулятора працює в широкому діапазоні напруги, забезпечуючи ефективну зарядку. Акумуляторна батарея забезпечує до 10 годин роботи ноутбука. Використання зовнішніх компонентів і сучасних DC-DC перетворювачів підвищує універсальність та ефективність системи.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі розглянуто багатофункціональні автономні системи живлення, що є важливими для забезпечення стабільного електропостачання в умовах сучасного світу. Дослідження охоплює як мобільні, так і стаціонарні системи, акцентуючи увагу на їхній архітектурі, ключових компонентах, принципах роботи та застосуванні. Значна увага приділяється потребі в автономних джерелах енергії, зокрема в контексті розвитку відновлюваних джерел енергії.

Основною частиною роботи є детальний опис ключових елементів автономних систем: акумуляторних батарей, інверторів, систем управління батареями (BMS) та контролерів заряду. Літій-іонні та літій-залізо-фосфатні акумулятори виділені як основні технології, що забезпечують високу ефективність, довговічність та безпеку. Крім цього, розглянуто гелеві акумулятори, які характеризуються простотою використання та меншою вартістю, проте зниженою енергетичною щільністю.

Особливу увагу приділено інтеграції автономних систем із відновлюваними джерелами енергії. Наголошено на важливості оптимізації процесу заряджання за допомогою сучасних MPPT-контролерів, які дозволяють максимально ефективно використовувати енергію сонця. Такі системи забезпечують можливість паралельної роботи з акумуляторами та живлення споживачів у режимі реального часу.

Розглянуто конструктивні відмінності між мобільними та стаціонарними системами. Мобільні системи характеризуються компактністю, легкістю та портативністю, що робить їх ідеальними для використання в польових умовах або під час подорожей. Стаціонарні системи, своєю чергою, орієнтовані на велику потужність і довготривалу експлуатацію, що дозволяє використовувати їх для резервного живлення будинків, підприємств або навіть цілих населених пунктів.

Висновки роботи підкреслюють перспективність автономних систем живлення в умовах сучасного світу. Їхня здатність забезпечувати надійне енергопостачання в різних умовах, від аварійних ситуацій до повсякденного використання, робить їх незамінними у світі зростаючих енергетичних викликів. Використання інноваційних підходів, таких як інтеграція з відновлюваними джерелами енергії та впровадження розумних систем BMS, дозволяє підвищити ефективність і надійність таких систем, забезпечуючи стійкість та енергетичну незалежність.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гарькавенко П. О. Особливості будови автономних безперебійних джерел живлення по типу esoflow. Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті. Т. 1 : Конференція "Електронна, лазерна та біотехнічна інженерія" : матеріали 28-го Міжнар. молодіж. форуму, м. Харків, 16–18 квіт. 2024 р. Харків, 2024. С. 42–43. URL: <https://doi.org/10.30837/IYF.ELBE.2024.042> (дата звернення: 20.11.2024).
2. Fazelpour F, Soltani N and Rosen MA (2014) Feasibility of satisfying electrical energy needs with hybrid systems for a medium-size hotel on Kish Island, Iran. *Energy* 73: 856–865
3. Ghenai C and Bettayeb M (2019) Modelling and performance analysis of a stand-alone hybrid solarPV/fuel cell/diesel generator power system for university building. *Energy* 171(1): 180–189.
4. Investigation of the Properties of Anode Electrodes for Lithium–Ion Batteries Manufactured Using Cu, and Si-Coated Carbon Nanowall Materials / M. T. Thi et al. *Energies*. 2023. Vol. 16, no. 4. P. 1935. URL: <https://doi.org/10.3390/en16041935> (дата звернення 21.11.2024).
5. Investigation of the Properties of Anode Electrodes for Lithium–Ion Batteries Manufactured Using Cu, and Si-Coated Carbon Nanowall Materials / M. T. Thi та ін. *Energies*. 2023. Т. 16, № 4. С. 1935. URL: <https://doi.org/10.3390/en16041935> (дата звернення: 20.11.2024).
6. Thulasiraman N., Viswanathan L., Sriramalakshmi P. Review of DC-DC boost converter derived topologies for renewable energy applications. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*. 2024. Т. 15, № 2. С. 947. URL: <https://doi.org/10.11591/ijped.v15.i2.pp947-957> (дата звернення: 21.11.2024).
7. Chiang C.-Y., . Lowest-Voltage-Switching and Zero-Voltage-Switching Control for Buck Converter : thesis. 2009. URL:

<http://ndltd.ncl.edu.tw/handle/68830049900111453144> (дата звернення: 19.11.2024).

8. Ajami A., Ardi H., Farakhor A. Design, analysis and implementation of a buck–boost DC/DC converter. IET Power Electronics. 2014. Т. 7, № 12. С. 2902–2913. URL: <https://doi.org/10.1049/iet-pel.2013.0874> (дата звернення: 20.11.2024).

9. A hybrid scheme for optimal performance of photovoltaic system converters with multilayer structure / M. Zand та ін. The Journal of Engineering. 2022. URL: <https://doi.org/10.1049/tje2.12218> (дата звернення: 21.11.2024).

10. Rehman S. Hybrid power systems – Sizes, efficiencies, and economics. Energy Exploration & Exploitation. 2020. С. 014459872096502. URL: <https://doi.org/10.1177/0144598720965022> (дата звернення: 21.11.2024).

11. Parameswari M., Usha S. Design and analysis of battery management system in electric vehicle. EAI Endorsed Transactions on Energy Web. 2024. Т. 11. URL: <https://doi.org/10.4108/ew.5003> (дата звернення: 21.11.2024).

12. Switching Power Supply Technical Manual / Jerry Lin 2003 URL: <https://www.power-supplies.com.au/files/mean-well-user-technical-manual.pdf> (дата звернення: 10.12.2024).

13. Raymond A., Mack Jr. Demystifying switching power supplies - ISBN 0-7506-7445-8 – Library of Congress Cataloging-in-Publication Data Mack. Jr/ Raymond A: copyright 2005, Elsevier.-TK7868.S9M24 pp.113 – 154.

14. TL494 Switchmode pulse width modulation control circuit /Semiconductor Components Industries // datasheet 2004 URL: <https://pdf1.alldatasheetru.com/datasheet-pdf/view/12679/ONSEMI/TL494.html> (дата звернення: 10.12.2024).

15. IP2368 Integrated buck-boost drive, Charging management chip with a maximum charging power of 100W // datasheet 2020 URL: https://www.chipsourcetek.com/DataSheet/IP2368_v1.35.pdf (дата звернення: 10.12.2024).

16. LG Chem Rechargeable Lithium Battery E63 // datasheet 2018 URL: <https://lgx.com.ua/wp-content/uploads/2022/08/akkumulyatornyj-element-lg-chem->

[lgx-e63-himiya-nmc-36v-paket-emkost-63a-ch-razryad-3-5c-2000-cziklov-929gram.pdf](#) (дата звернення: 10.12.2024).

17. LM5116 Wide Range Synchronous Buck Controller / Texas Instruments // datasheet 2015 URL: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm5116.pdf?ts=1685830788659&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F (дата звернення: 11.12.2024).