

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка побутової зарядної станції

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТмз-24-1



Підпис

К.О. Галушко
Ініціали, прізвище

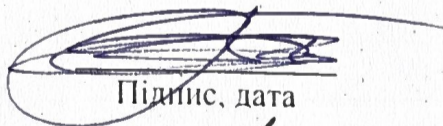
Керівник



Підпис, дата

С.І. Пундик
Ініціали, прізвище

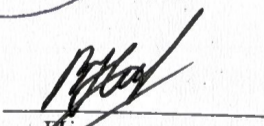
Нормоконтролер



Підпис, дата

О.Г. Тимощук
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:



Підпис, дата

В.С. Неймак
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

10 12 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень магістр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

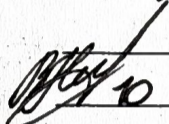
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

 10. 12. 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Галуцко Костянтин Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка побутової зарядної станції

керівник роботи Пундик С. І., к.т.н.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 25 08 2025 р. № 65

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи вхідна напруга - 5 В, струм - 3000 мА

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

Вступ. 1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики магістерської роботи. 2 Розробка побутової зарядної станції. 3 Розрахунки побутової зарядної станції. Висновки. Перелік джерел посилань.

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

1. Зарядні станції (ДО, А1). 2. Побутова зарядна станція (Е1, А1). 3. Побутова зарядна станція (Е3, А1). 4. Плата побутової зарядної станції (ДП1, А1). 5. Корпус побутової зарядної станції (ДП2, А1). 6. Плата побутової зарядної станції (ВЗ1, А1). 7. Плата побутової зарядної станції (ВЗ2, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики магістерської роботи	до 30.10.25р.	
2 Розробка побутової зарядної станції	до 10.11.25р.	
3 Розрахунки побутової зарядної станції	до 20.11.25р.	
4 Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	до 12.12.25р.	

Студент

Керівник роботи


Підпис


Підпис

К. О. Галушко
Ініціали, прізвище

С. І. Пундик
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Галушко Костянтин Олександрович

2. Тема магістерської роботи Розробка побутової зарядної станції

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 7 арк., сторінок записки 68

5. У процесі розвитку людського суспільства різноманітні портативні пристрої – зокрема мобільні телефони, мультимедійні плеєри, навігатори та інші – почали займати все важливіше місце в повсякденному житті людей. У зв'язку з цим з'явилися портативні джерела живлення, які можна легко переносити. Вони також потребують зарядки від стаціонарних джерел, але самі не витрачають накопичену енергію, а зберігають її для подальшого використання замість основного джерела живлення. Зростання кількості портативних пристроїв і підвищення їхнього споживання енергії робить проблему створення ефективних систем заряджання ще більш актуальною. В магістерській роботі розробляється побутова зарядна станція. В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень з тематики магістерської роботи, а саме характеристики роботи зарядних пристроїв та різновиди акумуляторів. В другому здійснюється розробка побутової зарядної станції. В третьому розділі проведено розрахунки побутової зарядної станції.

Підпис студента 

" 10 " 12 20 25 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 5 від " 29 " 12 20 25 р.

Оцінка проекту ЕК згідно ІСІ 78

Рекомендації ЕК -

Особливі відмітки -





Технічний секретар Гуржак А.В.

" 29 " 12 20 25 р.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	6
1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики магістерської роботи.....	7
1.1 Характеристики роботи зарядних пристроїв	6
1.2 Методи визначення стану акумуляторних батарей.....	9
1.3 Різновиди акумуляторів	11
Висновки до першого розділу	23
2 Розробка побутової зарядної станції.....	24
2.1 Розробка структурної електричної схеми	24
2.2 Вибір конекторів	26
2.3 Вибір АКБ.....	28
2.4 Вибір пристрою для зміни напруги постійного струму	29
Висновки до другого розділу.....	36
3 Розрахунки побутової зарядної станції	37
3.1 Розробка та розрахунки вихідного підвищувально-понижувального перетворювача.....	37
3.2 Проектування та розрахунок блоку заряджання акумулятора і модуля акумуляторних батарей.....	52
3.3 Проектування та розрахунок вхідного buck-boost перетворювача	57
Висновки до третього розділу	65
Висновки	66
Перелік джерел посилань.....	67

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Змі.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Галушко К. О.			Літ.	Арк.	Аркушів			
Перевір.		Пундик С. І.				5	68			
Реценз.					Розробка побутової зарядної станції					
Н. Копр.		Тимошук О. Р.						ХНУ гр. ЕТмз-24-1		
Затверд.		Неймак В. С.								

ВСТУП

У процесі розвитку людського суспільства різноманітні портативні пристрої – зокрема мобільні телефони, мультимедійні плеєри, навігатори та інші – почали займати все важливіше місце в повсякденному житті людей. Незважаючи на наявність власних джерел енергії, їхній енергетичний запас обмежений, тому такі пристрої потребують регулярної підзарядки. Зазвичай заряджання відбувається від стаціонарних джерел електроенергії, наприклад розеток або генераторів.

У зв'язку з цим з'явилися портативні джерела живлення, які можна легко переносити. Вони також потребують зарядки від стаціонарних джерел, але самі не витрачають накопичену енергію, а зберігають її для подальшого використання замість основного джерела живлення.

Зростання кількості портативних пристроїв і підвищення їхнього споживання енергії робить проблему створення ефективних систем заряджання ще більш актуальною.

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						6
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ З ТЕМАТИКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Характеристики роботи зарядних пристроїв

Зарядний пристрій є важливим елементом, що забезпечує належну продуктивність і надійність роботи різних типів акумуляторних батарей. Його основне призначення полягає у продовженні строку служби акумулятора та запобіганні його перегріванню.

Як правило, функціонування зарядного пристрою базується на використанні мікропроцесора, який керує процесом заряджання залежно від конкретного типу акумулятора, формуючи оптимальні умови для кожного з них. Під час заряджання мікропроцесор постійно контролює стан акумулятора та, за потреби, коригує параметри зарядного процесу, щоб уникнути перезаряду або теплових пошкоджень. Додатково пристрій виконує аналіз рівня заряду акумулятора.

Зарядний пристрій здатний визначати тип акумулятора, зручність його подальшого використання та ступінь зносу, що дає змогу вчасно вживати необхідних заходів для усунення можливих несправностей. Важливою додатковою функцією є захист від короткого замикання.

Окрім цього, реалізовано режим крапельного (підтримувального) заряджання: після досягнення повного заряду пристрій переходить у режим безперервної подачі малого струму для підтримання ємності акумулятора.

Отже, зарядний пристрій є високотехнологічним технічним засобом, що забезпечує ефективне та безпечне заряджання акумуляторів різних типів і ємностей. Він оснащений функціями ідентифікації типу батареї, контролю її стану, захисту від перегріву та короткого замикання, а також підтримувального заряджання, що робить інтелектуальні зарядні пристрої необхідними для збереження та продовження ресурсу акумуляторів.

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Інтелектуальні зарядні пристрої відрізняються від звичайних наявністю розширених функцій та можливістю гнучкого налаштування процесу заряджання. Вони здатні автоматично визначати оптимальну швидкість зарядки залежно від типу підключеного пристрою, контролювати температуру та зарядний струм, запобігаючи перегріву й пошкодженню акумулятора, а також застосовують електронні системи керування для більш швидкого та ефективного заряджання.

Такі зарядні пристрої підтримують різні типи роз'ємів і стандарти швидкого заряджання, що підвищує їх універсальність і зручність використання з широким спектром електронних пристроїв. Використання інтелектуальних зарядних систем спрощує процес зарядки, підвищує його безпеку та забезпечує оптимальні робочі режими.

Крім основних функцій, ці пристрої сприяють продовженню ресурсу батареї завдяки автоматичній оптимізації режимів заряджання відповідно до поточного стану акумулятора. Частина моделей відображає інформацію про рівень заряду та швидкість заряджання на власних дисплеях або в мобільних додатках, що робить контроль процесу більш наочним і зручним.

Таким чином, інтелектуальний зарядний пристрій є більш функціональним порівняно зі звичайним, оскільки поєднує додаткові можливості, високу ефективність та безпеку роботи. За умови правильного вибору він забезпечує надійне, швидке та безпечне заряджання, відповідаючи сучасним вимогам користувачів.

Інтелектуальні зарядні пристрої застосовуються для заряджання різноманітної електроніки, зокрема смартфонів, ноутбуків та електромобілів, і можуть класифікуватися за кількома ознаками. За типом підключення їх поділяють на портативні, мережеві та бездротові; за потужністю – на повільні (до 10 Вт) і швидкі (від 10 Вт); за функціональністю – з підтримкою швидкого, бездротового та безпечного заряджання.

У промисловості такі пристрої використовуються для зручного та

					<i>MPMA 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ефективного заряджання різного обладнання. Вони підходять для заряджання портативних пристроїв працівників (сканери штрих-кодів, планшети, смартфони), живлення акумуляторів електроінструментів (дрилі, шліфувальні машини, пилки), керування зарядом акумуляторів великої ємності, а також для моніторингу та контролю процесів зарядки в системах управління з метою економії енергії та запобігання перегріву й перевантаженню техніки.

1.2 Методи визначення стану акумуляторних батарей

Електрична батарея слугує джерелом струму, де електроенергія генерується за рахунок оборотних хімічних реакцій під час циклів заряду-розряду, забезпечуючи живлення різного електронного обладнання.

Електричний струм становить собою спрямований рух заряджених частинок: електронів у твердих тілах та іонів у рідинах чи газах. Для його існування необхідна електрорушійна сила (ЕРС) – різниця потенціалів між електродами, яку створює джерело напруги.

З хімічної перспективи робота батареї зводиться до перенесення електронів від одного електрода до іншого під впливом електроліту (кислотного чи лужного), супроводжуючись циклічним руйнуванням та регенерацією електродів (див. рис. 1.1).

На протилежному електроді відбувається зворотний процес: іони відокремлюються від першого електрода, переносять позитивний заряд до другого та неодноразово приєднуються до його поверхні.

Цей комплекс окисно-відновних реакцій супроводжується перетворенням одних речовин на інші – під час заряджання в одному напрямку, а при розряді акумулятора – у зворотному.

					<i>MPMA 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

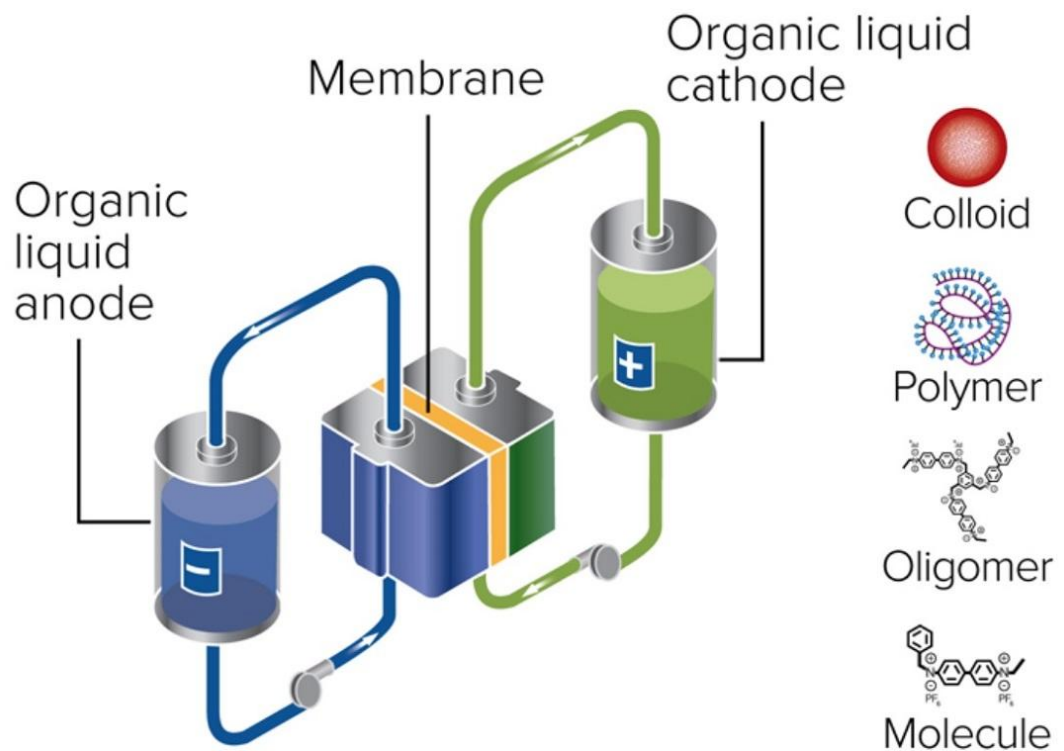


Рисунок 1 – Схематична ілюстрація роботи акумуляторного блоку

Застосування зовнішнього джерела струму під час заряджання забезпечує перетворення одного виду енергії в інший, а негативний заряд (електрони) виводиться з батареї через зовнішній ланцюг.

Основне призначення акумулятора полягає у накопиченні електроенергії під час заряджання та її видачі при розряді. Тому ключовими характеристиками будь-якої батареї є ємність, ефективність, напруга, умови експлуатації та ресурс служби. В системі СІ ємність вимірюється в кулонах, але на практиці частіше використовують одиницю $1 \text{ А} \cdot \text{год} = 3600 \text{ }^\circ \text{С}$.

Енергетична ємність батареї — це енергія, яку може віддати повністю заряджена батарея при розряді до мінімально допустимої напруги, — у СІ вимірюється в джоулях, а практично застосовують ват-години ($1 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 3600 \text{ Дж}$).

1.3 Різновиди акумуляторів

Сучасні акумулятори різняться методами накопичення заряду та матеріалами, що застосовуються. Найдавнішим типом є нікель-кадмієві (NiCd), які з часом замінили на нікель-метал-гідридні (NiMH), а нині найперспективнішими вважають літій-іонні (Li-ion) та літій-полімерні (Li-pol) батареї.

Акумуляторна батарея призначена для зберігання енергії з подальшою видачею. Її ключова властивість — відновлення здатності віддавати струм у зовнішній ланцюг після розряду за допомогою зворотного струму, тобто процесу заряджання.

Найпоширенішим типом залишаються свинцево-кислотні акумулятори, винахід французького фізика Гастона Планте 1859 року. Їхня робота базується на електрохімічних реакціях свинцю та діоксиду свинцю в сірчано-кислотному середовищі, причому існують різновиди з рідким електролітом.

AGM-акумулятори (рис. 2) відрізняються від класичних використанням абсорбованого, а не рідкого електроліту, що суттєво змінює їхні властивості.

Перевагою є:

					<i>MPMA 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Будова АГМ батареї

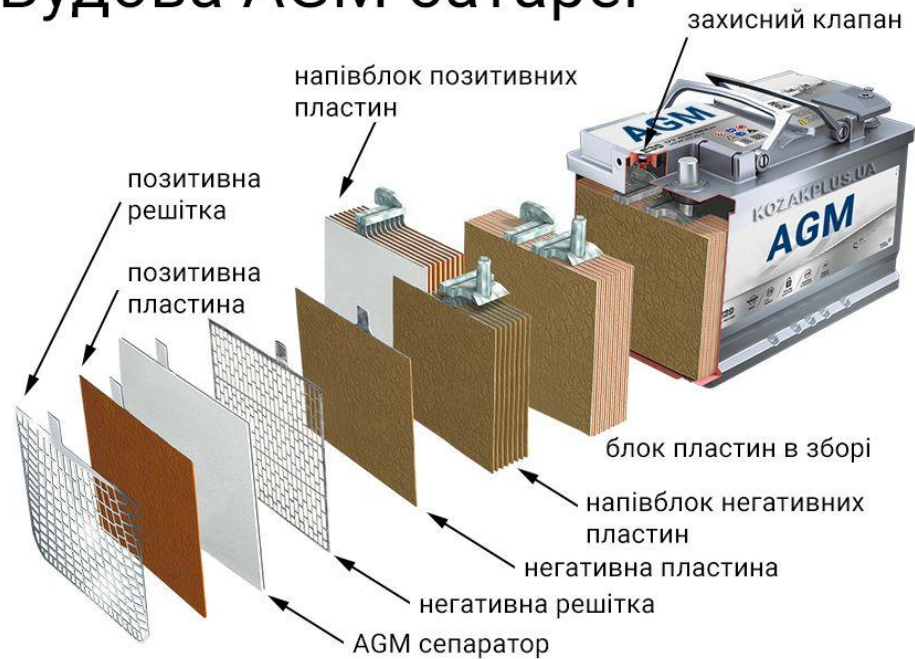


Рисунок 1.2 – Акумуляторна батарея, виконана за технологією АГМ

Переваги АГМ-акумуляторів:

- стійкість до вібрації;
- можливість монтажу в будь-якому положенні без необхідності обслуговування;
- герметична конструкція з клапанним регулюванням, що унеможливує витікання кислоти та корозію клем;
- надійна робота за низьких температур (до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- підтримка нестандартних позицій установки (включно з бічним).

Недоліки АГМ-акумуляторів:

- значна маса;
- токсичність оксиду свинцю, що створює загрозу для довкілля;
- висока вартість.

На рисунку 1.3 демонструється кореляція, що існує між рівнем напруги та температурними показниками акумулятора типу АГМ.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

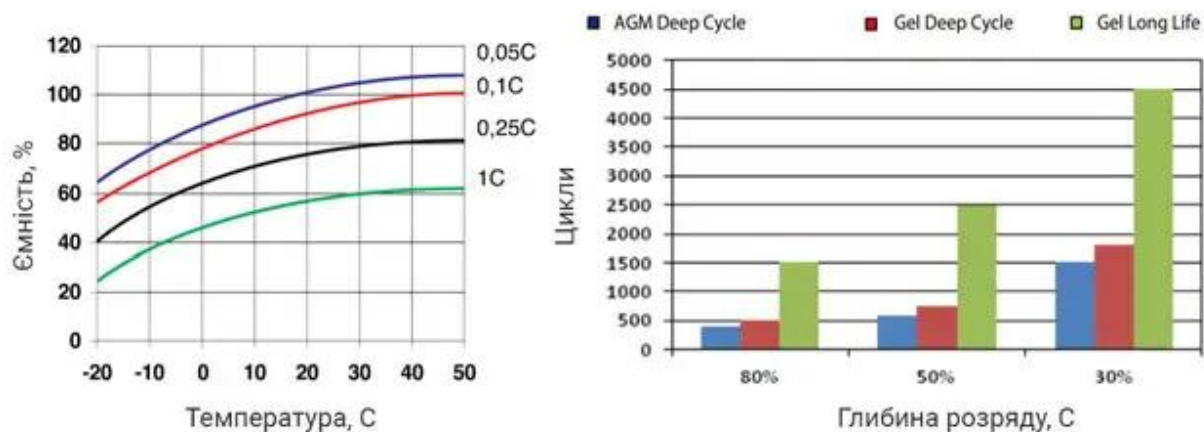


Рисунок 1.3 – Взаємозв'язок між електричною напругою, термічним режимом та циклічністю розрядження акумуляторів типу AGM

Графік ілюструє залежність зарядної напруги від температури навколишнього середовища: при зниженні температури для ефективного зарядження акумулятора потрібна вища напруга.

Середня енергетична щільність літій-іонних акумуляторів удвічі перевищує показники NiCd, а в майбутньому очікується зростання ємності до трикратного рівня порівняно з NiCd-технологіями. Хоча розрядні характеристики Li-ion і NiCd мають багато спільного, вони відрізняються за такими параметрами:

- напругою заряду та розряду;
- вищою енергетичною щільністю Li-ion, що забезпечує більшу ємність при аналогічних габаритах;
- нижчою саморозрядністю;
- вищою напругою елемента (3,6 В проти 1,2 В у NiCd та NiMH), що спрощує конструкцію.

Основне призначення акумулятора — накопичення електроенергії під час зарядження та її видача при розряді. Тому ключовими властивостями будь-якої батареї є ємність, коефіцієнт корисної дії (ККД), напруга, умови експлуатації та ресурс служби.

Використання сухого електроліту спрощує технологічний процес виробництва, підвищує безпеку для працівників і дозволяє створювати акумулятори різноманітних форм та розмірів.

Проте сучасні літій-полімерні акумулятори з сухим електролітом не забезпечують достатньої електропровідності в стандартному температурному діапазоні через високий внутрішній опір, що суттєво обмежує вихідний струм. Опір знижується лише при нагріванні: понад 50°C провідність досягає прийнятних значень, але такі умови зазвичай важко реалізувати чи непридатні для повсякденної експлуатації [13].

Основні параметри літій-іонних та літій-полімерних акумуляторів дуже близькі. Стандартний заряд триває близько 3 годин, а ознакою повного заряду є падіння струму до 3-5% від номінального без підвищення температури батареї.

Процес заряджання складається з двох фаз: на першій (постійний струм) напруга поступово зростає, заповнюючи до 70% ємності; на другій (постійна напруга) струм зменшується, уникаючи перегріву, доки не досягне 3%, після чого заряд Li-іон завершується.

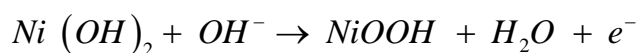
1.3.1 Нікель-металгідридні акумулятори

NiMH-акумулятори, або нікель-метал-гідридні, базуються на накопиченні водню в об'ємі анода, виготовленого зі спеціальних сплавів, здатних його абсорбувати – спочатку LaNi₅ (лантан-нікель), згодом з додаванням кобальту.

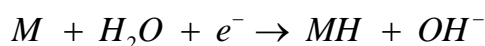
У рівноважному стані хімічні реакції призводять до накопичення вільних електронів на аноді; при замиканні зовнішнього ланцюга вони переміщуються до катода, забезпечуючи розряд акумулятора.

Зворотний процес – заряд – відбувається при підключенні до зовнішнього джерела струму і полягає в накопиченні електронів в об'ємі анода. Реакція заряду на аноді виглядає як:

					<i>MPMA 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



Процес, що відбувається на катоді при присутності заряду:



Процеси розряду відбуваються у зворотному напрямку.

Дані явища показано на рисунку 1.4.

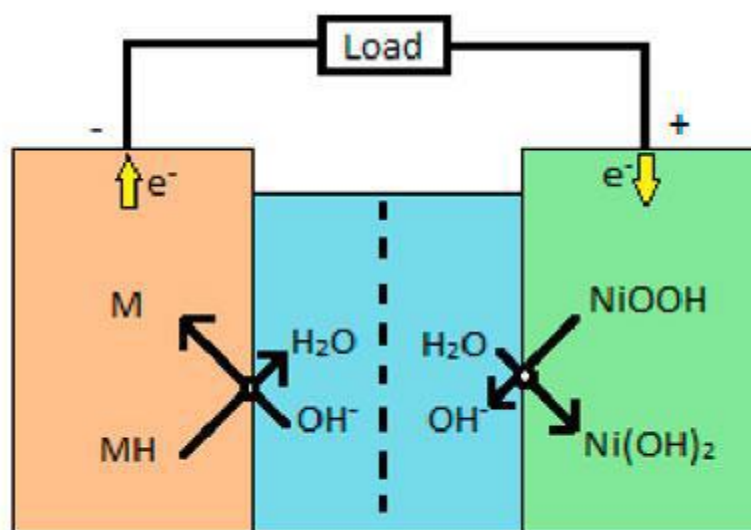


Рисунок 1.4 – Схематичне зображення хімічних процесів, що перебігають у нікель-металогідридному (NiMH) акумуляторі під час його заряджання

Структура NiMH-акумулятора, окрім електродів, включає сепаратор для їх розділення. У циліндричних моделях сепаратор розміщується між електродами, формуючи "бутерброд", який згортається в рулон і поміщається в анодну склянку.

Зверху на рулоні розташовані термозахист, запобіжний клапан та катодний контакт, а навколо анодної склянки — ізоляційна оболонка. Така конструкція типового циліндричного NiMH-акумулятора зображена на

рис.1.5.

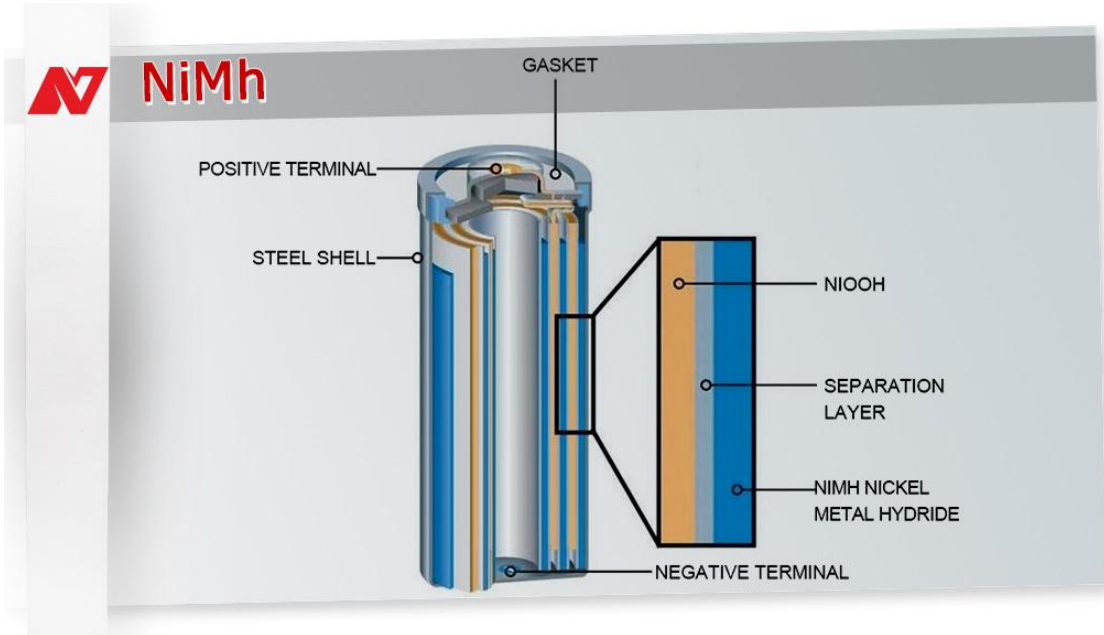


Рисунок 1.5 – Схематична структура стандартного акумулятора циліндричної форми на основі нікель-металогідриду

З точки зору безпеки NiMH-акумулятори зазвичай вибухо- та пожежобезпечні. Для додаткового захисту зарядні пристрої можна оснащувати термісторами чи схемними рішеннями, які обмежують зарядний струм при підвищенні температури батареї.

NiMH-акумулятори заряджаються струмами 0,2–0,5С, що є відносно низькими значеннями і унеможливорює швидке зарядження, особливо для батарей великої ємності в умовах, де потрібна висока швидкість. При зберіганні слід враховувати саморозряд 10–20% на місяць, проте перевагою є те, що тривале зберігання в розрядженому стані не прискорює деградацію.

При неповному розряді чи заряді NiMH-акумуляторів виникає так званий ефект пам'яті, типовий для класичних моделей. Він спричинений утворенням кристалів в електроліті та на поверхні електродів під час окисно-відновних реакцій, що зменшує площу контакту та ємність батареї.

Відновлення можливе через серію циклів повного розряду-заряду або "тренування" — заряд імпульсним струмом з короткими негативними

імпульсами, які руйнують кристали. Однак при значному накопиченні кристалів зміни стають незворотними, і акумулятор виводиться з експлуатації.

1.3.2 Нікель-кадмієві акумулятори

Нікель-кадмієві (Ni-Cd) акумулятори містять позитивний електрод з оксиду гідроксиду нікелю та негативний — з металевого кадмію. Напруга відразу після заряду сягає 1,3 В, швидко стабілізується на рівні 1,2 В з незначним падінням аж до повного розряду; ресурс служби — близько 2000 циклів заряду-розряду.

Вони демонструють стабільну роботу при низьких температурах з мінімальною втратою ємності та здатні віддавати повну потужність короткочасними високими струмами розряду.

Основні недоліки: висока вартість матеріалів, швидкий саморозряд і токсичність при утилізації, що призвело до витіснення Ni-Cd з масового ринку на користь ємнісніших NiMH-акумуляторів. Великі вентильовані Ni-Cd батареї все ж застосовують в аварійному освітленні та резервному живленні.

Ni-Cd акумулятор складається з позитивного електрода з оксид-гідроксиду нікелю, негативного — з металевого кадмію, а між ними розміщується сепаратор з лужним електролітом на основі гідроксиду калію.

Конструкція являє собою згорнутий у циліндричну форму «бутерброд» з електродів і сепаратора, поміщений у металевий стакан з ущільнювальною пластиною та запобіжним клапаном (рис. 1.6).

					<i>MPMA 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

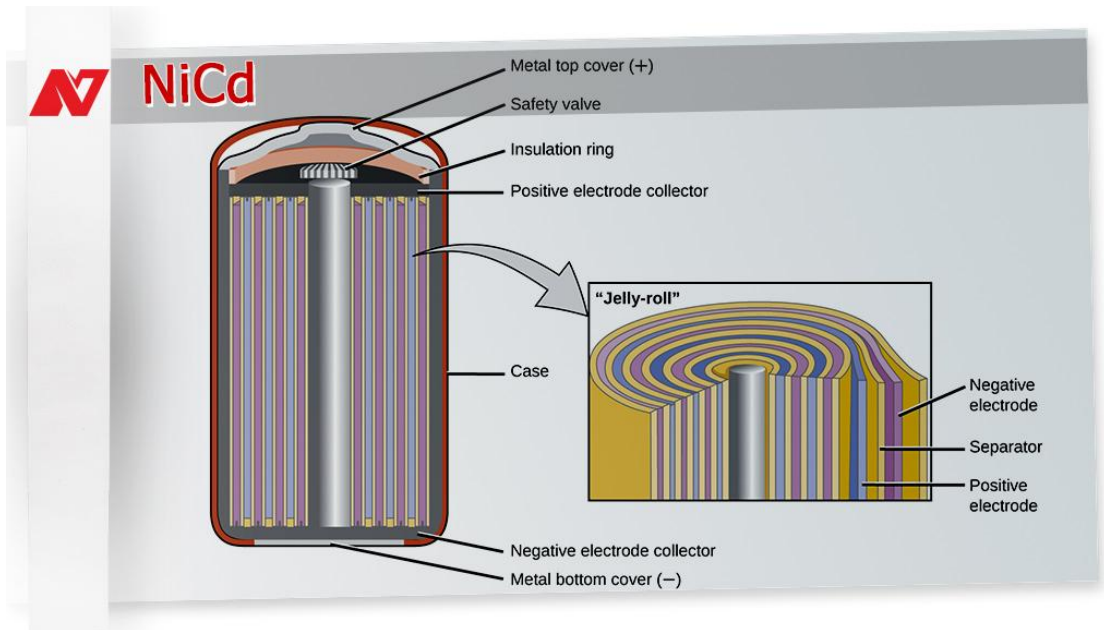
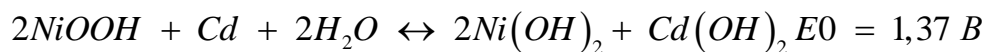


Рисунок 1.6 – Схема типового акумулятора циліндричного типу з нікель-кадмієвим електродом

Опишемо електрохімічні процеси, які відбуваються як на поверхні електродів, так і всередині електроліту, у такий спосіб:

У фазі розрядження на електроді з кадмію спостерігається вивільнення вільного електрона:



Основні параметри Ni-Cd акумуляторів представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні параметри Ni-Cd акумуляторів

Параметр	Значення
Питома енергоємність	50–65 Вт·год/кг
Питома енергетична щільність	50–150 Вт·год/дм ³
Питома потужність	150–500 Вт/кг

Параметр	Значення
ЕРС	1,38 В
Робоча напруга	1,0–1,35 В
Нормальний струм зарядки	0,1–1С
Кількість циклів	100–900
Саморозряд	10%/місяць
Робочий діапазон температур	–50...+40 °С

Переваги Ni-Cd акумуляторів:

- допускають глибокий розряд як під час експлуатації, так і зберігання;
- витримують високі струми розряду до 50С;
- перевершують NiMH за піковим струмом розряду (15С проти 5С);
- мають значно вищу енергетичну щільність порівняно зі свинцево-кислотними акумуляторами.

1.3.3 Літій-іонні акумулятори

Структуру акумуляторів на базі літію та іонів можна побачити на рисунку 1.7.

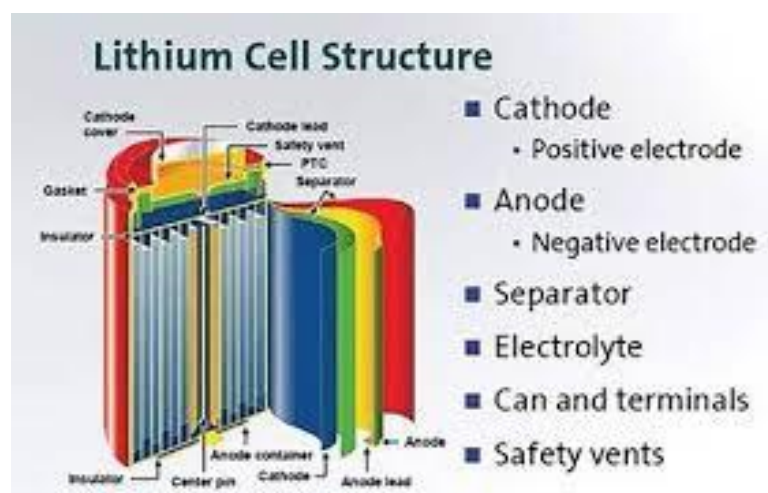


Рисунок 1.6 – Будова звичайної циліндричної літій-іонної батареї

Літій-іонні акумулятори класифікуються за типами.

Літій-кобальтові (ICR) характеризуються найвищою ємністю, але обмеженим ресурсом і суворими вимогами до умов експлуатації.

- вихідна напруга: 3–4,2 В;
- питома енергоємність: 250 Вт·год/кг;
- максимальний струм розряду: 2С;
- тривалий робочий струм: 1С.

Вони вибухонебезпечні: можуть загорятися при глибокому розряді, перевантаженні чи перевищенні номінальних струмів.

Літій-нікель-марганець-кобальт-оксидні (NMC) акумулятори мають номінальну напругу 3,7 В з робочим діапазоном 2,6–4,3 В.

Вони забезпечують струм розряду до 2С, ресурс до 1000 циклів повного заряду-розряду (або до 5000 циклів при частковому розряді).

Літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидні (NCA) акумулятори характеризуються питоною енергетичною щільністю 200–260 Вт·год/кг.

Їхній ресурс становить до 500 циклів, максимальна напруга на елементі – 4,2 В, робочий діапазон напруг – 3,0–3,6 В.

Літій-марганцеві (IMR або INR) акумулятори мають робочий діапазон напруг 2,5–4,2 В.

Їхня енергоємність становить 14–150 Вт·год/кг з ресурсом служби до 6 років, підтримкою до 1000 циклів заряду-розряду та стаціонарним струмом навантаження до 5С.

Дані акумулятори втрачають працездатність при температурах нижче - 10 °С, але вирізняються низьким саморозрядом і стійкістю до загоряння та вибухів.

Літій-залізо-фосфатні акумулятори (LiFePO₄, LiFe, LFP, IFR) мають катод з фосфату заліза-літію та графітний анод на мідній підкладці.

Вони вирізняються низькою вартістю, мінімальною токсичністю при виробництві й утилізації, а також тривалим ресурсом служби як за часом, так

					<i>MPMA 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

і за циклами заряду-розряду. Тому широко застосовуються в електромобілях (споживчих, комерційних, технологічних), системах безперебійного живлення та стаціонарних установках, займаючи близько 30% ринку акумуляторів для електротранспорту.

Літій-залізо-фосфатні акумулятори вирізняються тривалішим терміном служби за часом порівняно з іншими типами, стабільною напругою розряду (близько 3,2 В протягом усього циклу) та нижчою екологічною небезпекою завдяки заміні кобальту на фосфор у складі фосфату заліза.

Вони забезпечують високі пікові струм і потужність, хоча швидкість заряду нижча, ніж у інших літій-іонних чи свинцево-кислотних акумуляторів. При експлуатації LiFePO₄ повільніше втрачають ємність порівняно з іншими літій-іонними батареями.

Літій-титанатні акумулятори (LTO) використовують анод на основі Li₄Ti₅O₁₂ (пентатитанат літію) з пористою нанокристалічною структурою, що забезпечує питому поверхню 100 м²/г – у десятки разів більше, ніж у вуглецевих електродів (3 м²/г).

Вони мають найширший температурний діапазон (-60...+60 °C), напругу осередку 1,6–2,7 В (номінальна – 2,3 В), енергоємність ~100 Вт·год/кг і рекордний ресурс до 15 000 циклів заряду-розряду. Завдяки мінімальному внутрішньому опору підтримують надшвидкий заряд/розряд великими струмами та саморозряд лише 0,02% на добу.

Однак нижча напруга призводить до меншої питомої енергії (30–110 Вт·год/кг), що обмежує застосування в портативній електроніці, де потрібна висока енергетична щільність. Теоретично ідеальні для автомобілебудування, але виробники вважають їхній наддовгий ресурс недоліком через зменшення продажів заміни.

1.3.4 Літій-полімерні акумулятори

LiPol-акумулятори є вдосконаленою версією літій-іонних, де сепаратор

					<i>MPMA 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

виготовлений з полімерних матеріалів. Це дозволяє створювати плоскі багатошарові структури анод/сепаратор/катод без скручування в циліндр чи спіраль, досягаючи товщини осередку менше 3 мм.

Порівняно з Li-іон, вони мають вдвічі менший ресурс за циклами та часом служби. Головна перевага LiPol — можливість виготовлення батарей з максимальним розрядним струмом до 130С.

Відсутність металевого корпусу знижує вибухонебезпечність LiPol-акумуляторів порівняно з Li-іон, але підвищує пожежну небезпеку. Вони мають нижчу надійність та вдвічі менший термін служби, ніж літій-іонні акумулятори.

Внутрішня структура Li-Pol акумулятора зображена на рис. 1.7.

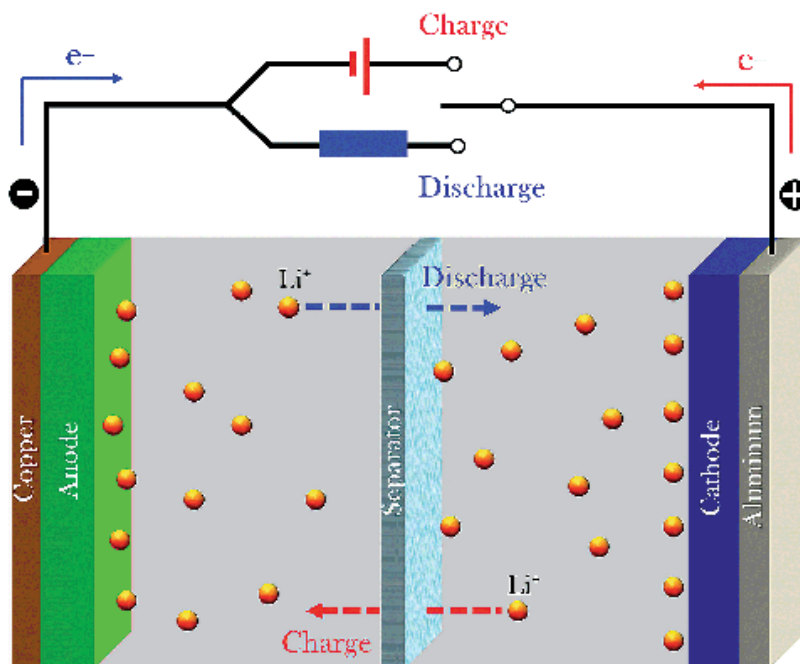


Рисунок 1.7 – Внутрішня структура Li-Pol акумулятора

Як і в літій-іонних акумуляторах, іони літію в LiPol переміщуються від катода до анода під час заряджання та у зворотному напрямку при розряді на навантаження.

На відміну від Li-іон з поровим сепаратором, у літій-полімерних акумуляторах іони рухаються в гелеподібному електроліті на основі солей

літію, введених у полімер. Напруга осередку варіюється від 2,7–3 В у розрядженому стані до 4,2 В у зарядженому.

Основні правила роботи з LiPol-акумуляторами

- максимальна напруга заряду — 4,2 В.
- уникати короткого замикання, що спричиняє перегрів і пожежу.
- не допускати температури акумулятора понад 60 °С.
- зберігати герметичність оболонки для запобігання загорянню.
- контролювати мінімальний рівень розряду — не нижче 3 В на осередок.
- не зберігати в розрядженому стані.
- після морозу прогрівати акумулятор перед зарядкою.
- для тривалого зберігання підтримувати напругу на рівні половини робочого діапазону (між максимумом і мінімумом).

Висновки до першого розділу

Досліджено принципи роботи зарядних пристроїв, їхні переваги, недоліки, класифікацію та основні типи акумуляторних батарей.

Визначено способи поповнення енергії портативних пристроїв:

1. За допомогою комплектного або універсального зарядного пристрою з відповідними електричними характеристиками для багатьох моделей.
2. Використанням заздалегідь зарядженого запасного акумулятора сумісної моделі чи з відповідними габаритами та параметрами.
3. Застосуванням портативного універсального power bank.

					<i>MPMA 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

2 РОЗРОБКА ПОБУТОВОЇ ЗАРЯДНОЇ СТАНЦІЇ

2.1 Розробка структурної електричної схеми

Розробка побутового пристрою для зарядки літій-іонних акумуляторів

На основі аналізу наявних рішень вирішено створити переносний накопичувач енергії, що поєднає переваги розглянутих пристроїв.

Розроблений пристрій призначений для зарядання мобільних пристроїв напругою 5 В і максимальним струмом 600 мА. На виході передбачено USB-роз'єм типу А, на вході — miniUSB типу В, USB типу В, роз'єм для зарядного пристрою (5 В DC) та клеми для напруги 3–14 В DC. У якості накопичувача енергії використовуються NiMH акумулятори типорозміру AA.

За заданими характеристиками розроблено блок-схему пристрою (рис. 2.1).

Схема працює з постійним струмом у трьох режимах залежно від положення перемикача (ON1–OFF–ON2):

1) Заряд акумулятора (ON1). У цьому режимі одночасно заряджаються акумуляторні батареї та подається напруга на навантаження через вихідні роз'єми. Вхідна напруга може подаватися на роз'єми 5 В або 3–14 В.

При подачі напруги на роз'єми 5 В струм розподіляється двома шляхами:

а) вхідний роз'єм 5 В → блок заряду акумуляторів → акумуляторні батареї;

б) вхідний роз'єм 5 В → вихідний понижувально-підвищуючий перетворювач → вихідний роз'єм.

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

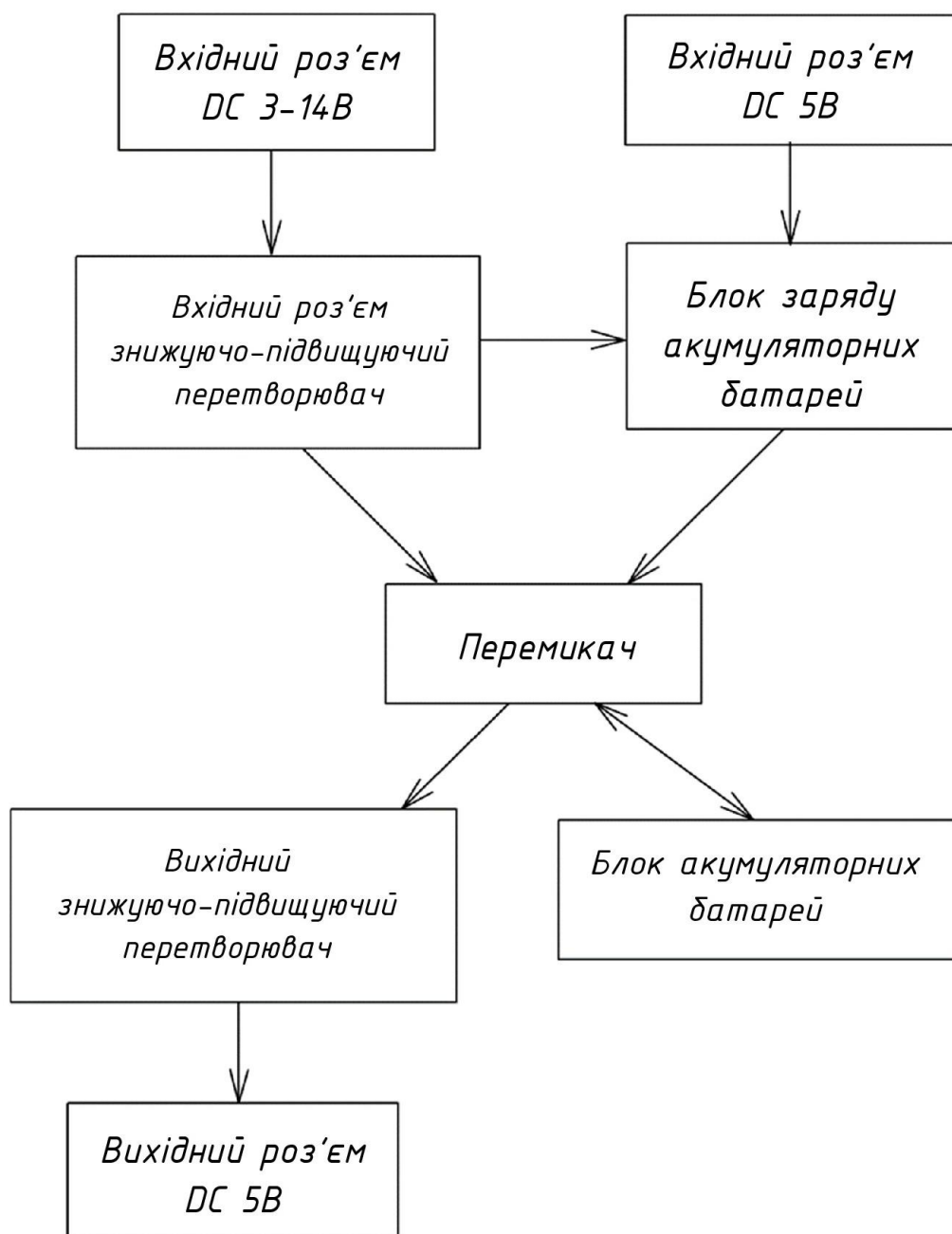


Рисунок 2.1 – Структурна схема побутової зарядної станції

При подачі напруг на вхідні роз'єми 3–14 В струм протікає двома шляхами:

- а) вхідний роз'єм 3–14 В → вхідний понижувально-підвищуючий перетворювач → блок заряду акумуляторів → акумуляторні батареї;
- б) вхідний роз'єм 3–14 В → вхідний понижувально-підвищуючий перетворювач → вихідний понижувально-підвищуючий перетворювач →

вихідний роз'єм.

2) Розряд акумулятора (ON2). Блок акумуляторів з'єднується виключно з вихідним понижувально-підвищуючим перетворювачем, забезпечуючи живлення навантаження напругою 5 В до 0,6 А.

3) Режим середньої точки (OFF). Акумуляторний блок відключений від усіх ланцюгів, вхідне живлення не подається ні на вихід, ні на батареї.

2.2 Вибір роз'ємів

У портативних пристроях для подачі постійного струму найчастіше застосовують чотири типи зовнішніх роз'ємів:

1. Штирковий;
2. Клемний;
3. USB;
4. Нестандартний — специфічний для однієї моделі чи виробника.

2.2.1 Опис USB роз'єму

USB-роз'єми є найпоширенішими в портативній техніці, серед яких лідирує тип А. (рис. 2.2) [6].



Рисунок 2.2 – USB A

Існує також роз'єм USB тип В (рис. 2.3), проте він не набув популярності як зарядний для мобільних пристроїв.

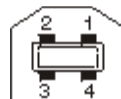


Рисунок 2.3 – USB B

					<i>MPMA 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Опис контактів цих роз'ємів подано в таблиці 2.1 відповідної документації, де для кожного виводу зазначено номер, позначення, тип сигналу та колір провідника.

Таблиця 2.1

Опис контактів роз'єму USB тип A/B

Номер контакту	Позначення	Тип сигналу	Колір дроту
1	V BUS	+5V живлення	червоний
2	D-	USB дані	білий
3	D+		зелений
4	GND	Земля	чорний

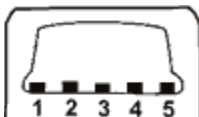


Рисунок 1.4 – Mini USB B

Таблиця 1.4

Опис контактів роз'єму mini USB B

Номер контакту	Позначення	Колір дроту
1	V BUS	червоний
2	D-	білий
3	D+	зелений
4	ID	не підключений
5	GND	чорний

Для розроблюваного пристрою обрано такі типи роз'ємів:

1. USB тип A — використовується як вихідний роз'єм. Для нього доступна велика кількість перехідників, а виробники портативних пристроїв

часто додають кабелі з цим типом конектора у комплект постачання для підзарядки.

2. miniUSB тип B та USB тип B — застосовуються як вхідні роз'єми. MiniUSB тип B поширений у портативній техніці як універсальний конектор для заряджання та передачі даних, тоді як USB тип B використовується переважно для підключення периферійних пристроїв до комп'ютера.

2.2.2 Опис клемів

Клемні колодки класифікуються за типом кріплення провідників на три основні види:

1. З гвинтовим затискачем.
2. З пружинним затискачем.
3. З ножовим затискачем.

Для розроблюваного пристрою обрано модель із пружинним затискачем, оскільки вона дозволяє підключати оголений провід без використання додаткового інструменту, забезпечуючи швидке й надійне з'єднання.

2.2.3 Опис нетипових конекторів

У розроблюваному пристрої нестандартні роз'єми підключення живлення не використовуються, адже їх застосування знижує універсальність конструкції та ускладнює експлуатацію, змушуючи користувача витратити час на пошук сумісного кабелю.

2.3 Вибір АКБ

Ni-MH акумулятори типу AA є одними з най доступніших у магазинах крокової доступності з номінальною напругою 1,2 В та ємністю від 1000 до 3500 мА·год.

					<i>MPMA 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для розроблюваного пристрою обрано 10 акумуляторів GP Batteries NiMH типорозміру AA ємністю 2600 мА·год, основні їх характеристики представлено в таб. 2.5.

Таблиця 2.5

Ключові параметри NiMH батареї GP Batteries формату AA

Параметр		Значення
Модель		GP270AANC
Номинальна напруга, В		1.2
Мінімальна ємність 0,2С, <u>мА*г</u>		2600
Типова ємність 0,2С, <u>мА*г</u>		2650
Діаметр, мм		14.5
Висота, мм		50.5
Вага, г		33
Стандартний заряд	Струм, <u>мА</u>	260
	Час, год	16
Струм прискороного заряду 1 год, <u>мА</u>		2600

2.4 Вибір пристрою для зміни напруги постійного струму

У конструкції розроблюваного пристрою як підвищувально-знижувальний елемент застосовується перетворювач постійної напруги; розглянемо основні типи таких перетворювачів.

2.4.1 Підвищувальний ППН

На рисунку 2.5 показано схему підвищувального перетворювача постійної напруги, а на рисунках 2.6 і 2.7 наведено діаграми його роботи в різних режимах.

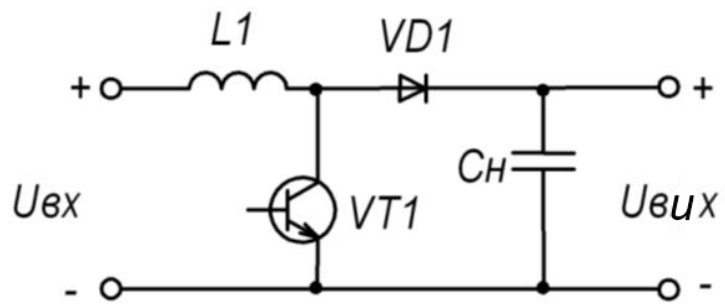


Рисунок 2.5 – Підвищувальний ППН

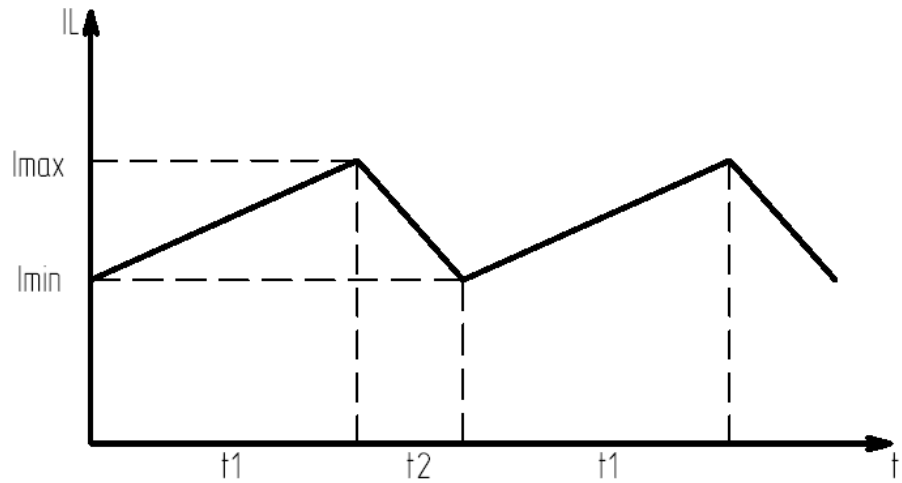


Рисунок 2.6 – Діаграми роботи в режимі безперервного протікання струму

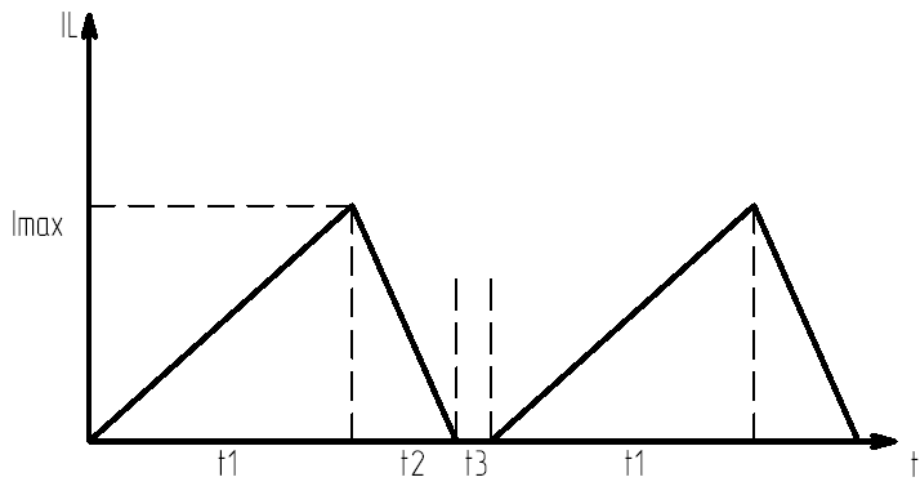


Рисунок 2.7 – Діаграми роботи в режимі переривчастого протікання струму

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

30

2.4.2 Понижувальний перетворювач постійної напруги

На рисунку 2.8 наведено схему понижувального перетворювача постійної напруги, а на рисунку 2.9 подано його робочі діаграми.

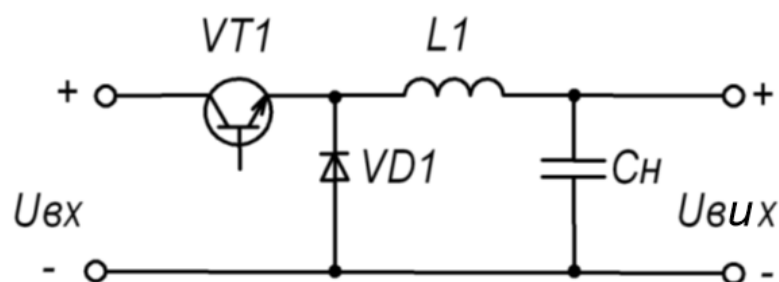


Рисунок 2.8 – Понижувальний перетворювач постійної напруги

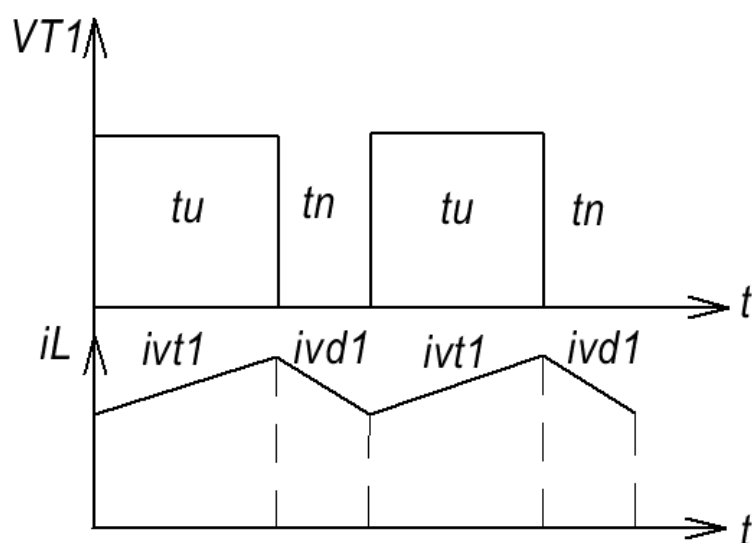


Рисунок 2.9 – Часові діаграми функціонування перетворювача постійної напруги

Під час першої фази, яка триває проміжок часу t_u , транзистор $VT1$ перебуває у відкритому стані та проводить струм i_{vt1} . Струм проходить від джерела живлення $U_{вх}$ через індуктивність $L1$ до навантажувального конденсатора, утворюючи ланцюг $U_{вх} - VT1 - L1 - C_n$, у результаті чого конденсатор C_n заряджається. У другій фазі транзистор закривається, і накопичена в дроселі енергія передається до навантаження. Через певний проміжок часу транзистор знову відкривається, і цикл повторюється.

2.4.3 Підвищувально-понижувальний перетворювач постійної напруги

На рисунку 2.10 показано схему підвищувально-понижувального перетворювача постійної напруги.

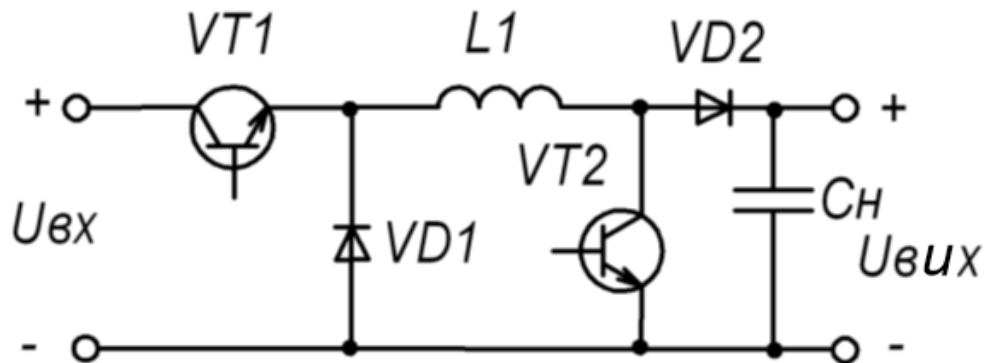


Рисунок 2.10 – Підвищувально-понижувальний перетворювач постійної напруги

Робота схеми відбувається таким чином: спочатку транзистор VT2 перебуває у закритому стані, а VT1 працює в ключовому режимі. У цей період схема функціонує як понижувальний перетворювач, подібно до схеми, зображеної на рисунку 2.9. Після заряджання конденсатора C_n до напруги $U_{вх}$ транзистор VT1 закривається, а VT2 переходить у ключовий режим, і схема починає працювати як підвищувальний перетворювач за аналогічним принципом.

2.4.4 Перетворювач Сук

На рисунку 2.11 показано схему перетворювача Сук, а на рисунку 2.12 наведено діаграми його роботи.

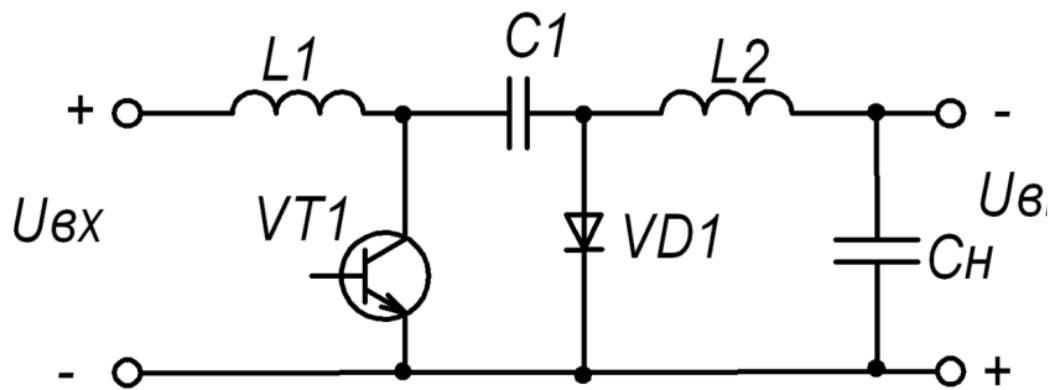


Рисунок 2.11 – Перетворювач Cuk

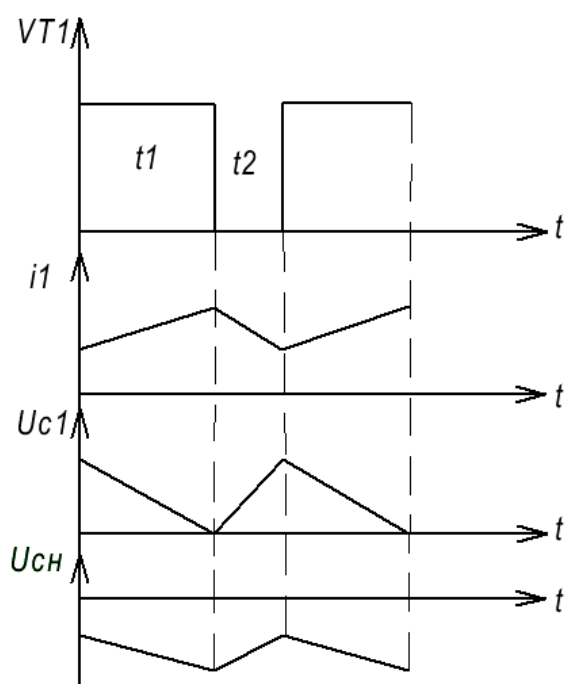


Рисунок 2.12 – Часові діаграми роботи перетворювача постійної напруги

2.4.5 Однотактний зворотний ходовий перетворювач

Коли потрібно підвищити вхідну напругу більш ніж у десять разів, застосовують підвищувальний перетворювач із трансформатором. Прикладом такої схеми є зворотньоходовий (fly-back) перетворювач, поданий на рисунках 2.13 та 2.14.

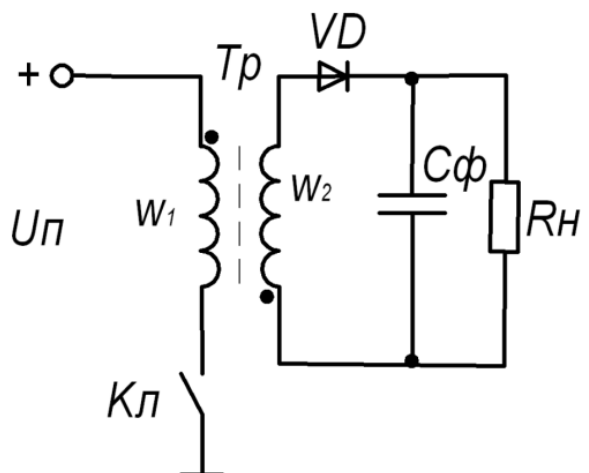


Рисунок 2.13 – Схема fly-back перетворювача

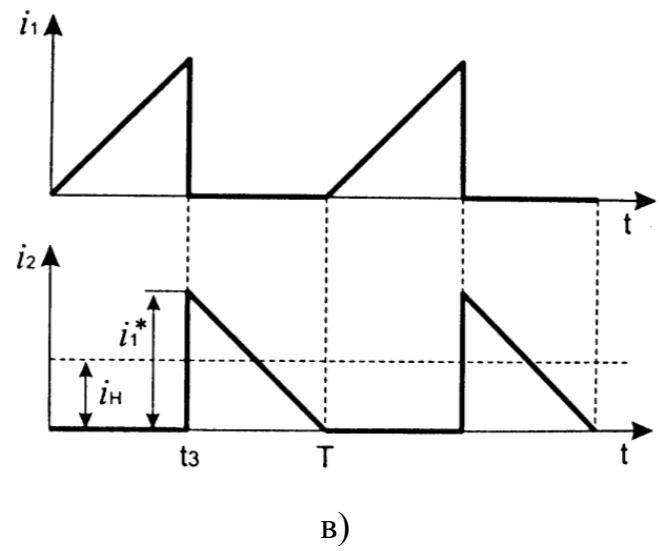
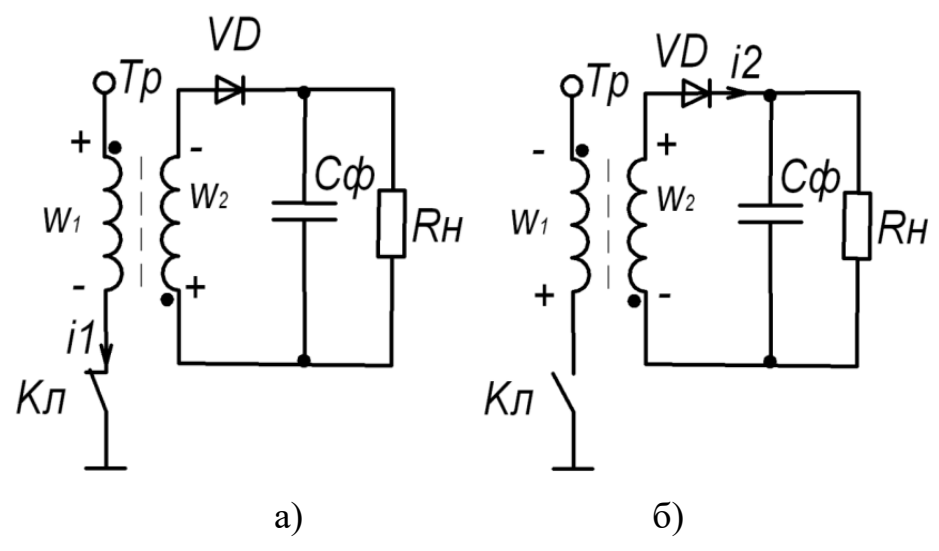


Рисунок 2.14 – Принцип дії fly-back перетворювача

2.4.6 Прямоходовий перетворювач

На рис. 2.15 наведено схему прямоходового перетворювача.

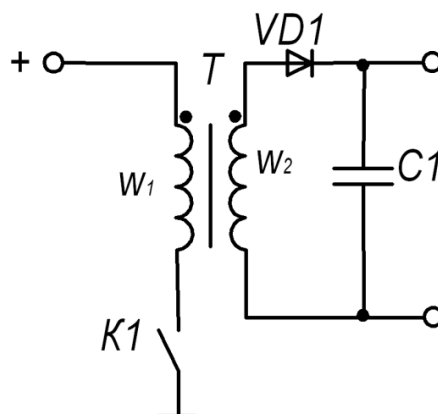


Рисунок 2.15 – Прямоходова схема перетворювача

Головною відмінністю цієї схеми від зворотньоходової є те, що трансформатор тут використовується за своїм безпосереднім призначенням – для передавання енергії, а не як елемент накопичення.

Прямоходові перетворювачі зазвичай застосовуються в колах із невеликою потужністю.

2.4.7 DC-DC конвертер SEPIC

Якщо у вихідному колі перетворювача C1к поміняти місцями реактор та діод VD1, утвориться схема, відома як перетворювач типу SEPIC, зображена на рисунках 2.16 та 2.17.

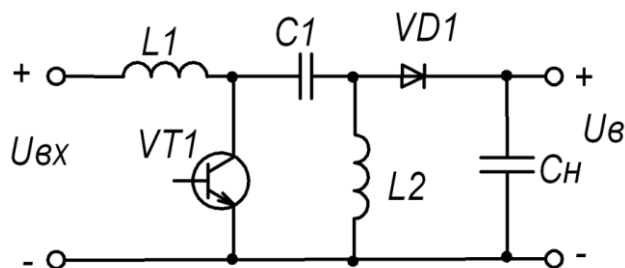


Рисунок 2.16 – DC-DC конвертер SEPIC

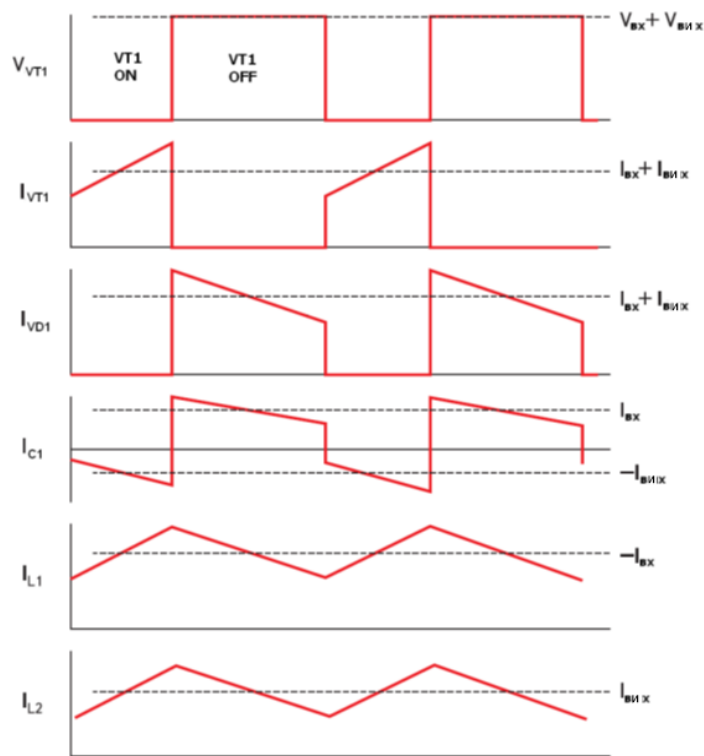


Рисунок 2.17 – Часові діаграми DC-DC конвертера SEPIC

Висновки до другого розділу

Після аналізу побутових пристроїв для заряджання акумуляторів було спроектовано переносний енергетичний накопичувач, який поєднує в собі переваги розглянутих рішень.

Розроблений пристрій призначений для заряджання мобільних пристроїв і літій-іонних акумуляторних батарей форм-факторів від 10440 до 26650 струмом до 2000 мА. Він оснащений вихідним USB-роз'ємом типу А, а на вході має роз'єми miniUSB типу В, USB типу В, роз'єм для підключення зарядного пристрою з вхідною напругою 5 В постійного струму та клеми для підведення напруги 3–14 В постійного струму. Як джерело енергії в пристрої використані NiMH акумулятори тип АА.

					<i>MPMA 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

3 РОЗРАХУНКИ ПОБУТОВОЇ ЗАРЯДНОЇ СТАНЦІЇ

3.1 Розробка та розрахунки вихідного підвищувально-понижувального перетворювача

На основі блочної схеми, наведеної на рисунку 2.1, складено електричну принципову схему (рис. 3.1).

Основні електричні параметри схеми: вхідна напруга – 3-14 В; вихідна напруга – 5 В; вихідний струм – 0,6 А; тип акумуляторів – NiMH типорозміру AA.

3.1.1 Розробка принципової схеми

Відповідно до вихідних даних, визначених у першому розділі, сформовано параметри для розрахунку вихідного підвищувально-понижувального перетворювача.

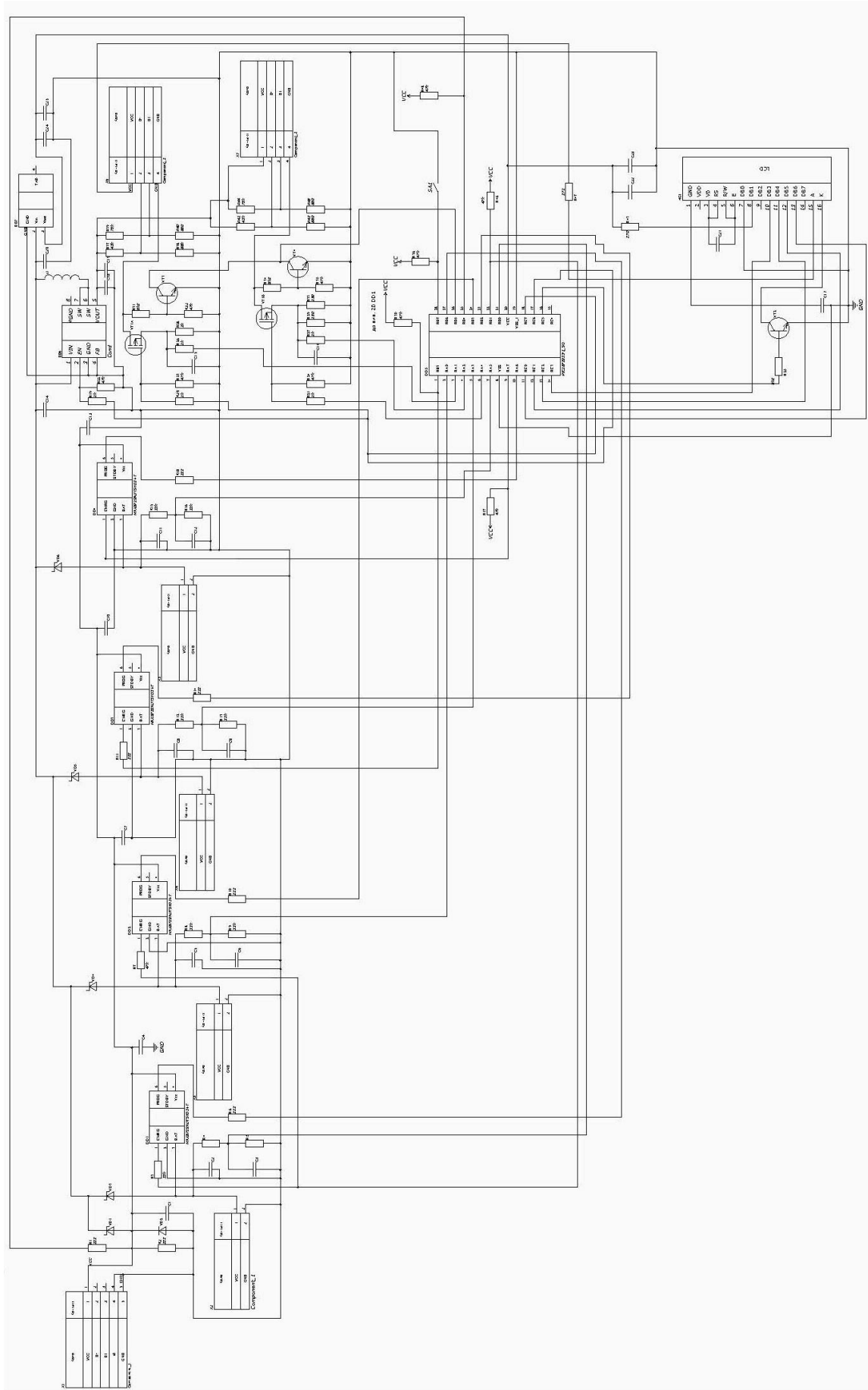
Вихідні дані для розрахунку перетворювача:

- вхідна напруга $V_{in} = 3,0 \dots 14,0$ В;
- номінальна вихідна напруга $V_{out} = 5$ В;
- номінальний вихідний струм $I_{out} = 0,6$ А.

Електрична принципова схема представлена на рисунку 3.3.

У режимі підвищувального перетворювача (boost) [14] транзистор M2 під час відкриття пропускає струм від джерела живлення V_{in} через дросель L3, у якому накопичується енергія. У цей момент діод D2 залишається закритим, а напруга на виході підтримується конденсатором C14. Після закриття транзистора струм через L3 продовжує протікати, але тепер проходить через діод D2, заряджаючи конденсатор C14. У результаті вихідна напруга V_{out} перевищує вхідну V_{in} .

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37



Риснок 3.1 – Електрична принципова схема зарядного пристрою

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

3.1.2 Розрахунки схеми

Розрахунок схеми виконано відповідно до рекомендацій datasheet мікросхеми LM3478 та Application Note 1484 "Designing A SEPIC Converter", опублікованих на сайті National Semiconductor [13].

Мікросхема LM3478 є драйвером керування польовим транзистором (рис. 3.2).

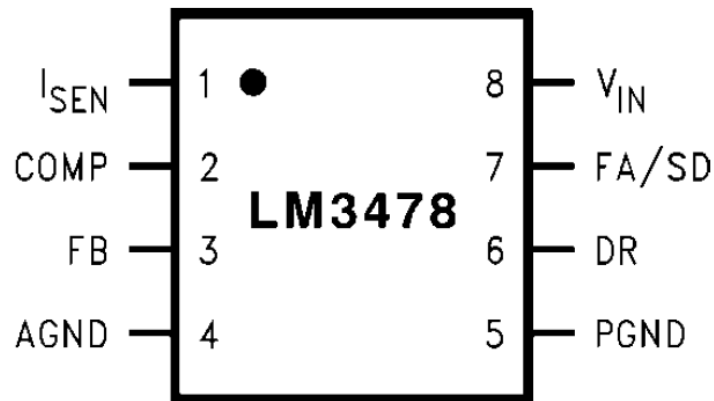


Рисунок 3.2 – Виводи мікросхеми LM3478

Таблиця 3.1

Мікросхема LM3478

PIN	Назва	Функції
1	ISEN	Контакт аналізу
2	COMP	Вхід компенсації
3	FB	Зворотній зв'язок
4	AGND	Аналоговий заземлюючий контакт
5	PGND	Заземлення потужності
6	DR	Вихід для керування польовим транзистором
7	FA/SD	Вихід для підключення <u>частотозадаючого резистора</u>
8	VIN	Вхід живлення

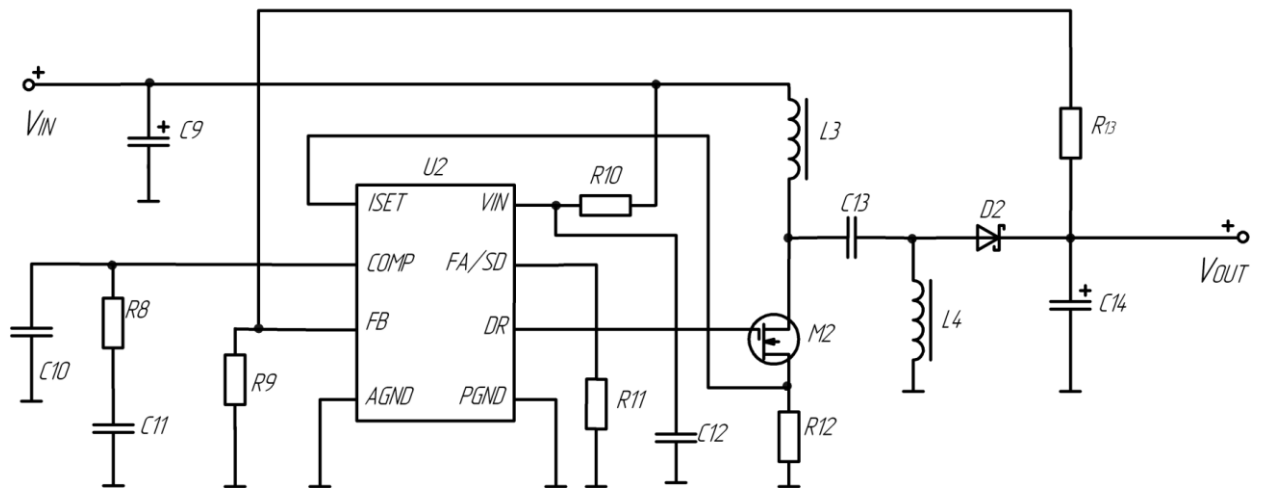


Рисунок 3.3 – Електрична принципова схема вихідного підвищувально-понижувального перетворювача

Таблиця 3.2

Характеристики мікросхеми LM3478

Параметр	Значення
Вхідна напруга, В	2.97 - 40
Тактова частота, <u>мГц</u>	0.1 - 1
Вихідна напруга	Залежить від схеми
Вихідний струм	Залежить від схеми
Робоча температура, <u>С°</u>	Від -40 до +125
Корпус	MSOP-8

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MPMA 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

40

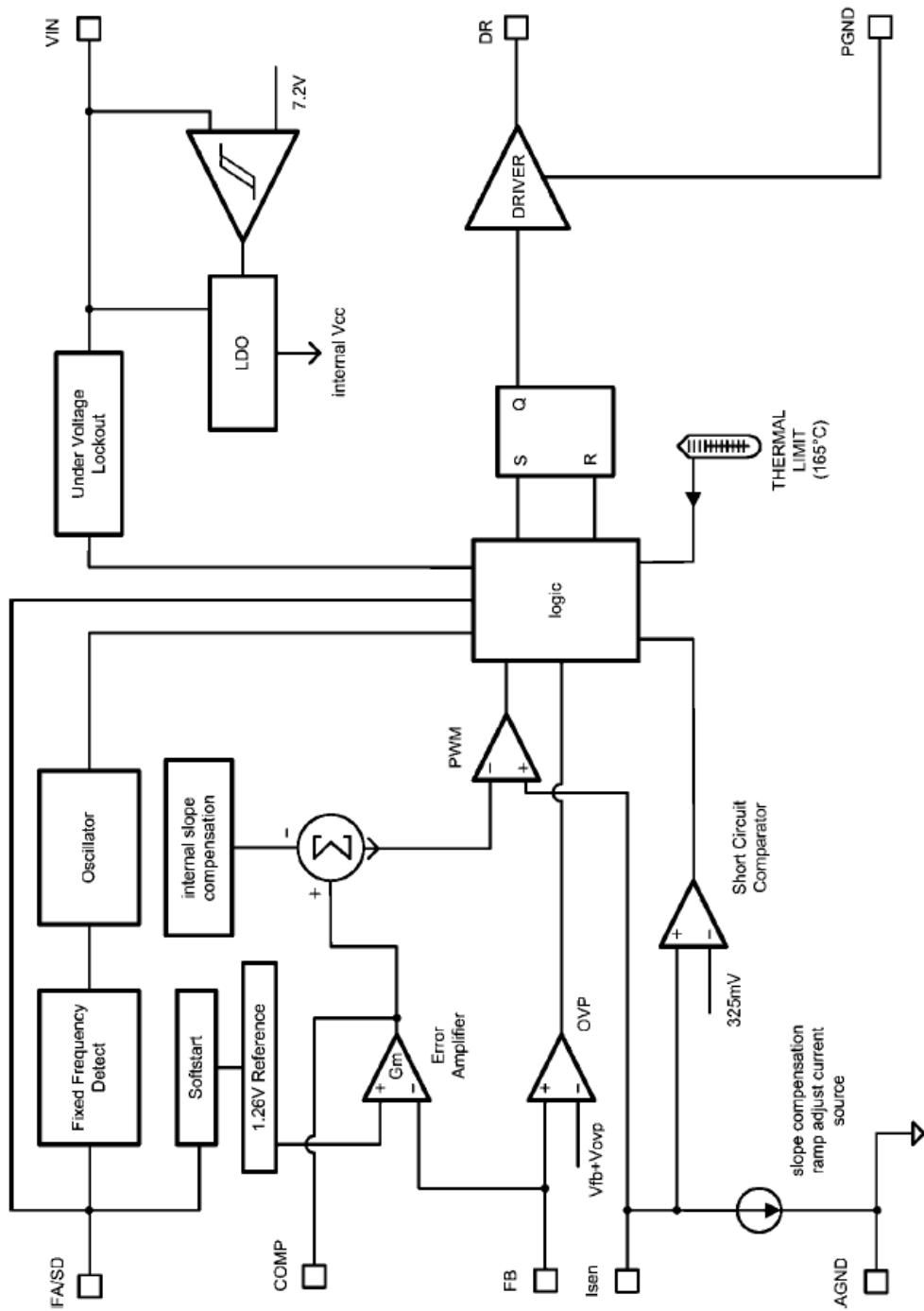


Рисунок 3.4 – Структура мікросхеми LM3478

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Для SEPIC-перетворювача, який функціонує в режимі безперервного струму (CCM), коефіцієнт заповнення (duty cycle) визначається за наступною формулою:

$$D_{\min} = \frac{V_{out} + VD}{V_{in} + V_{out} + VD} = \frac{5 + 0.5}{14 + 5 + 0.5} = 0.282, \quad (3.1)$$

$$D_{\max} = \frac{V_{out} + VD}{V_{in \min} + V_{out} + VD} = \frac{5 + 0.5}{3 + 5 + 0.5} = 0.647, \quad (3.2)$$

де V_{out} - вихідна напруга;

V_{in} - Вхідна напруга;

$V_{in \min}$ - мінімальна вхідна напруга;

VD - падіння напруги на діоді D1.

Розрахунок індуктивності.

Індуктивність котушок L3 та L4 дорівнює:

$$\Delta IL3 = \Delta IL4 = I_{out} \cdot \frac{V_{out}}{V_{in \min}} = 0.6 \cdot \frac{5}{3} = 0.4A, \quad (3.3)$$

$$L3 = L4 = \frac{V_{in \min}}{\Delta IL3 \cdot f_{SW}} \cdot D_{\max} = \frac{3}{0.4 \cdot 330000} \cdot 0.647 = 1.471 \cdot 10^{-5} = 14 \mu\text{Г}. \quad (3.4)$$

Пікові струми у індуктивності:

$$IL3_{peak} = I_{out} \cdot \frac{V_{in} + VD}{V_{in \min}} \cdot \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 0.6 \cdot \frac{5 + 0.5}{3} \cdot \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 1.32A, \quad (3.5)$$

$$IL4_{peak} = I_{out} + \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \cdot I_{out} = 0.6 + \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \cdot 0.6 = 0.72A. \quad (3.6)$$

Діаграму струмів $I_{L_{peak}}$ та ΔI_L наведено на рис. 3.5.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

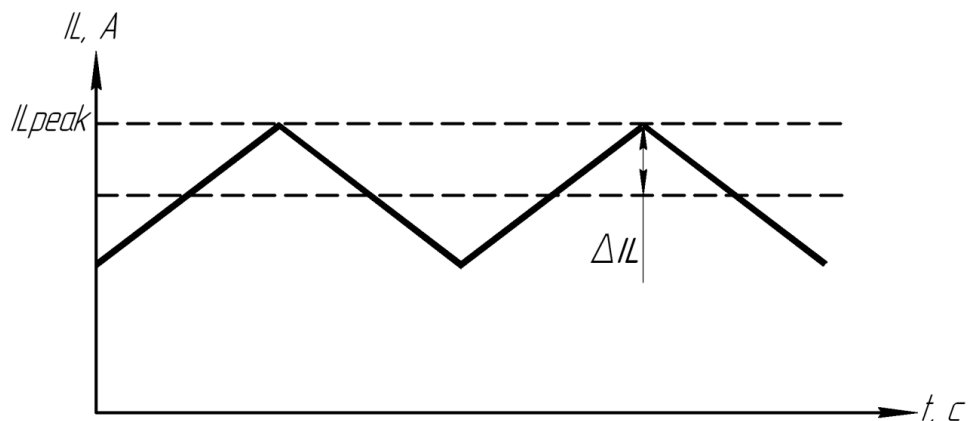


Рисунок 3.5 – Часова діаграма струму через індуктивність

На основі цих параметрів обрано індуктивності L3 та L4 моделі SDR1005-330KL виробництва компанії Bourns.

Таблиця 3.3

Параметри індуктивності SDR1005-330KL

Параметр	Значення
Ємність, <u>мкГ</u>	33
<u>I_{rms max}</u> , A	1.8
Робоча температура, <u>С°</u>	Від -40 до +125
Опір на постійному струмі <u>RDC max</u> , <u>Ом</u>	0.12
Матеріал серцевини	Ферит
Матеріал дроту обмотки	Емальована мідь

Розрахунок польового силового транзистора.

Пікові напруги на ключі визначається за формулою:

$$V_{Q2(peak)} = V_{in\ max} + V_{out} = 14 + 5 = 19V. \quad (3.7)$$

Піковий струм через польовий силовий транзистор:

$$IQ2(peak) = IL3 peak + IL4 peak = 1.32 + 0.72 = 2.04A. \quad (3.8)$$

Средньоквадратичний струм:

$$IQ2(rms) = Iout \cdot \sqrt{\frac{(Vout + Vin min) \cdot Vout}{Vin min^2}} = 0.6 \cdot \sqrt{\frac{(5 + 3) \cdot 5}{3^2}} = 1.265A. \quad (3.9)$$

Розрахункові напруги на стоку польового транзистора повинні перевищувати значення VQ2.

Часові діаграми струмів та напруг через польовий транзистор наведено на рисунку 3.6.

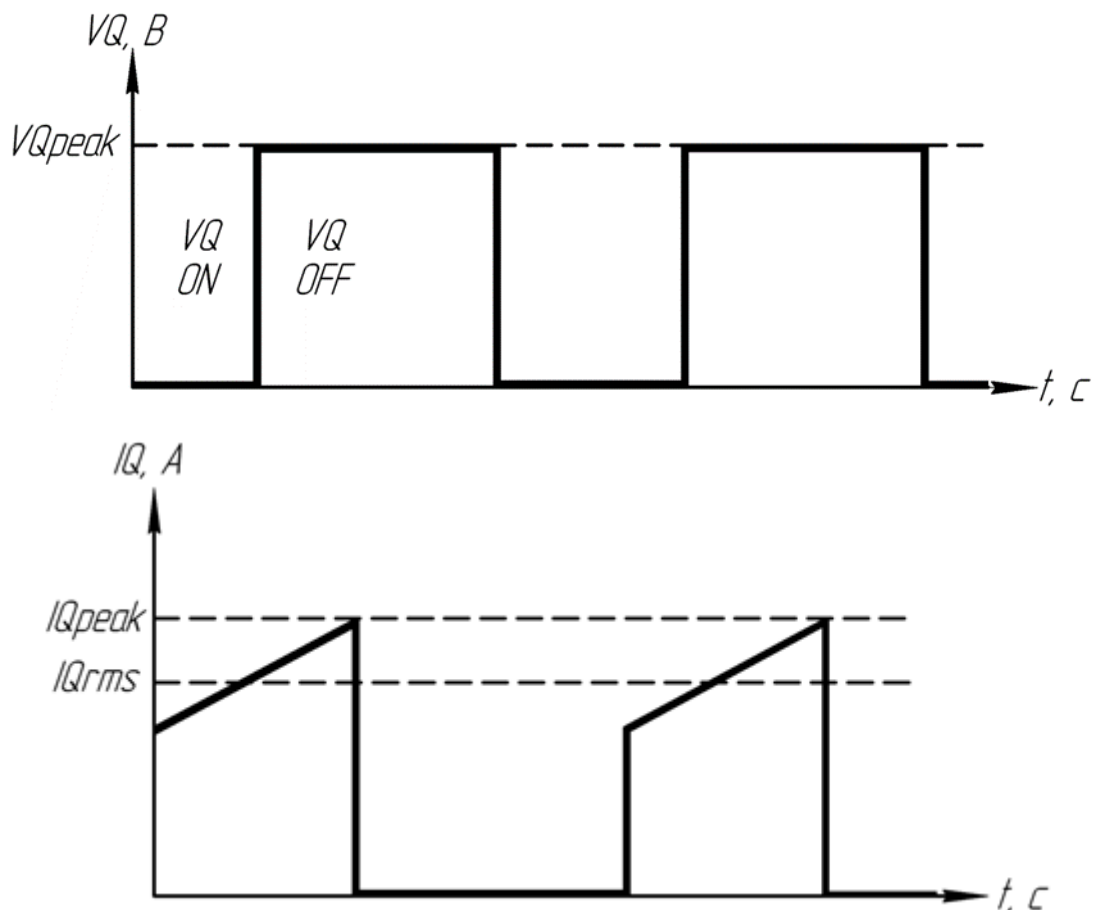


Рисунок 3.6 – Діаграми струмів і напруг через транзистор

Обрано [17] польовий транзистор моделі SI2316BDS-T1-E3 виробництва Vishay-Siliconix.

Прогнозоване зменшення енергоспоживання визначено за формулою:

$$PQ2 = IQ2(rms)^2 \cdot RDS(on) \cdot D_{max} + (V_{in\ min} + V_{out}) \cdot IQ2(peak) \cdot \frac{QGDf_{sw}}{IG} =$$

$$= 1.265^2 \cdot 0.05 \cdot 0.647 + (3 + 5) \cdot 2.04 \cdot \frac{1.1 \cdot 10^{-9} \cdot 330000}{0.3} = 0.078 \text{ Вт.}$$

де $RDS(on) = 0.05 \text{ Ом}$;

$QGD = 1.1 \text{ нКл}$;

струм управління затвором IG для LM3478 дорівнює 0.3 А.

Таблиця 3.4.

Основні характеристики SI2316BDS-T1-E3

Параметр	Значення
Напруга <u>сток-вигтік</u> , В	30
Максимальна напруга затвор-вигтік, В	±20
Піковий струм транзистора, що перемікається, А	4.5
Опір каналу у відкритому стані, <u>Ом</u>	0.05
Максимальний заряд затвор- <u>сток</u> , <u>нКл</u>	1.1
Максимальна потужність, що розсіюється, Вт	1.66
Робоча температура, <u>С°</u>	Від -55 до +150
Корпус	ТО-236 (SOT-23)

Розрахунки вихідного діода.

У перетворювачів SEPIC пікові струми діода дорівнюють піковому струму ключа $IQ2(peak) = 2,01 \text{ А}$.

Мінімальне значення пікового зворотного напруження діода визначається за формулою:

$$VD2 = V_{in \max} + V_{out \max} = 14 + 5 = 19V. \quad (3.10)$$

Середнє значення струму через діод відповідає вихідному струму за умови повного навантаження. Для зниження втрат обрано діод Шотткі типу В330А від компанії Diodes Inc.

Таблиця 3.5

Основні характеристики В330А

Параметр	Значення
Максимальна постійна зворотна напруга, В	30
Середній випрямлений струм, А	3
Максимально допустимий прямий імпульсний струм, А	80
Робоча температура, С°	Від -55 до +125

Розрахунок розділового конденсатора.

Дійсне (середньоквадратичне) значення струму через С13:

$$I_{C13(rms)} = I_{out} \cdot \sqrt{\frac{V_{out}}{V_{in \min}}} = 0.6 \cdot \sqrt{\frac{5+0.5}{3}} = 0.812A. \quad (3.11)$$

Ємність конденсатора:

$$C13 > L3 \cdot \frac{I_{out}^2}{V_{in}^2} > 4.662 \cdot 10^{-3} \Phi. \quad (3.12)$$

Пульсації напруг:

$$\Delta VC13 = \frac{I_{out} \cdot D_{\max}}{C13 \cdot f_{sw}} = \frac{0.6 \cdot 0.647}{4.662 \cdot 10^{-8} \cdot 330000} = 0.118V. \quad (3.13)$$

Розділовий конденсатор слід розраховувати на більший середньоквадратичний струм, ніж необхідно для забезпечення заданої вихідної потужності. Робочу напругу конденсатора обирають вище за максимальну вхідну напругу.

За рекомендованими виробником параметрами обрано керамічний конденсатор C3225X7R1E106M ємністю 10 мкФ від компанії TDK.

Розрахунок вихідного конденсатора.

Дійсне (середньоквадратичне) значення струму через вихідний конденсатор:

$$IC14(rms) = IC13(rms) = 0.812A. \quad (3.14)$$

Припустимо, що амплітуда пульсацій (від піку до піку) становить 2% від вихідної напруги 5 В. У такому разі еквівалентний послідовний опір (ESR) вихідного конденсатора:

$$ESR \leq \frac{Vripple \cdot 0.5}{IL3peak + IL4peak} = \frac{5 \cdot 0.02 \cdot 0.5}{1.32 + 0.72} = 0.025 \text{ Ом}. \quad (3.15)$$

де $Vripple = Vout \cdot 2\% = 5 \cdot 0.02$.

На рис. 3.7 показано пульсації вихідної напруги.

Ємність вихідного конденсатора становить:

$$C14 > \frac{Iout \cdot Dmax}{Vripple \cdot 0.5 \cdot fsw} = \frac{0.6 \cdot 0.647}{5 \cdot 0.02 \cdot 330000} = 2.353 \cdot 10^{-5} = 23 \text{ мкФ}. \quad (3.16)$$

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

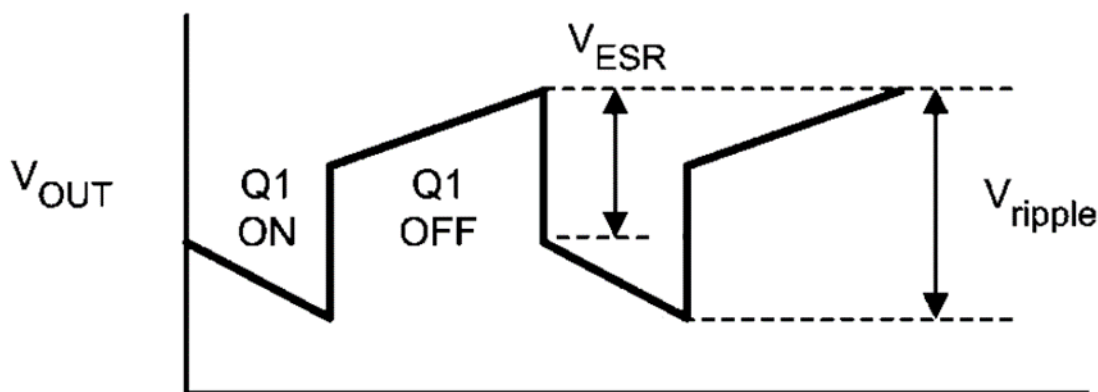


Рисунок 3.7 – Амплітуда пульсацій вихідної напруги

Для поверхневого монтажу доцільно застосовувати такі типи конденсаторів: танталові, з полімерними електролітами, танталові полімерні або багатошарові керамічні. Враховуючи ці рекомендації, обрано електролітичний конденсатор моделі APXE100ARA121MF61G виробництва Nippon Chemi-Con.

Таблиця 3.6

Характеристики APXE100ARA121MF61G

Параметр	Значення
Ємкість, <u>мкФ</u>	120
Середньоквадратичний струм <u>I_{rms}</u> , <u>мА</u>	2530
Еквівалентний послідовний опір <u>ESR</u> , <u>мОм</u>	25
Робоча температура, С°	Від -55 до +105

Розрахунок конденсатора, підключеного до входу.

У схемі перетворювача типу SEPIC присутня вхідна ємність. Дійсне (середньоквадратичне) значення струму на вході:

$$I_{C9}(rms) = \frac{\Delta I L 3}{\sqrt{12}} = \frac{0.4}{\sqrt{12}} = 115 \text{ мА}. \quad (3.17)$$

Враховуючи наведені параметри, обрано конденсатор UUD1E151MCL1GS виробництва Nichicon [17].

Таблиця 3.6

Характеристики UUD1E151MCL1GS

Параметр	Значення
Ємкість, <u>мкФ</u>	150
Середньоквадратичний струм <u>I_{rms}</u> , <u>мА</u>	450
Еквівалентний послідовний опір ESR, <u>мОм</u>	170
Робоча температура, С°	Від -55 до +105

Для покращення роботи пристрою при входній напрузі, нижчій за 8 В, рекомендується застосувати RC-ланцюг, що складається з резистора R10 опором 20 Ом і керамічного конденсатора C12 ємністю 1 мкФ, підключеного відповідно до схеми на рисунку 3.8. Обрано резистор моделі CRCW04D CC1206KRX7R9BB104 виробництва Yageo America.

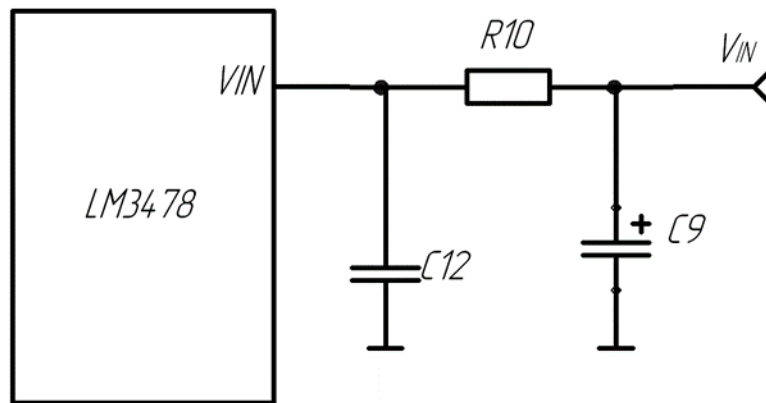


Рисунок 3.8 – Схема подавлення входних шумів

Розрахунки резисторів схеми зворотного зв'язку.

R9 – верхній резистор, R13 – нижній резистор дільника напруги.

Опорна напруга зворотного зв'язку $V_{ref} = 1,26$ В. Приймаємо $R13 = 30$ кОм, звідки:

$$R9 = \frac{V_{ref}}{V_{out} - V_{ref}} \cdot R13 = \frac{1.26}{5 - 1.26} \cdot 30000 = 10.106 \cdot 10^3 \text{ Ом.} \quad (3.18)$$

На основі отриманих параметрів обрано [17] резистори R9 — CRCW040210K0FKED та R13 — CRCW040230K0FKED виробництва компанії Vishay-Dale.

Таблиця 3.7

Характеристики R9-CRCW040210K0FKED та R13-
CRCW040230K0FKED

Параметр	Значення R9	Значення R13
Опір, кОм	10	30
Максимальне V_{max} , В	50	50
Розсіювальна потужність, мВт	63	63
Робоча температура, С°	Від -55 до +155	Від -55 до +155

Розрахунок резистора, який визначає частоту.

Опір R11 обирається за графіком (рис. 3.9) і становить приблизно 55 кОм.

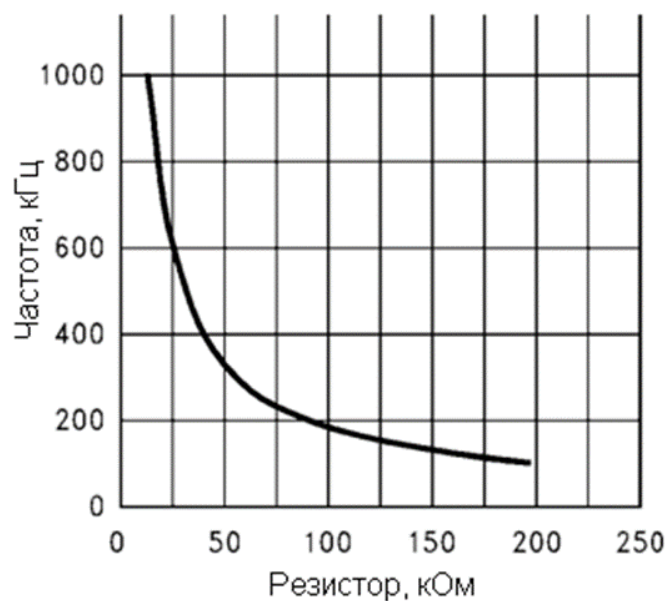


Рисунок 3.10 – Залежність частоти від опору резистора R11

Виходячи з наведених параметрів, обрано [17] резистор CRCW040255K0FKED виробництва Vishay-Dale.

Таблиця 3.8

Характеристики CRCW040255K0FKED

Параметр	Значення
Опір, кОм	55
Максимальне V_{max} , В	50
Розсіювальна потужність, мВт	63
Робоча температура, С°	Від -55 до +155

Розрахунок резистора, що задає струм обмеження.

Порогова напруга спрацювання захисту струму для LM3478 становить 120 мВ. Після урахування напруги компенсації пілкоподібного сигналу залишається близько 75 мВ. Звідси опір шунтового резистора:

$$R_{12} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{I_{Q2}(peak)} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{2.04} = 0.036 \text{ Ом.} \quad (3.19)$$

На основі отриманих параметрів обрано [17] резистор CSR0402FT35L0 виробництва Stackpole Electronics Inc.

Таблиця 3.9

Характеристики CSR0402FT35L0

Параметр	Значення
Опір, кОм	0.035
Максимальне V_{max} , В	50
Розсіювальна потужність, мВт	0.125
Робоча температура, С°	Від -55 до +155

Відповідно до рекомендацій на мікросхему, підібрали [17] резистор CRCW040250R0FKED фірми Vishay-Dale.

Таблиця 3.10

Характеристика CRCW040250R0FKED

Параметр	Значення
Опір, кОм	250
Максимальне V_{max} , В	50
Розсіювальна потужність, мВт	63
Робоча температура, С°	Від -55 до +155

Враховуючи ці параметри, обрано [17] керамічний конденсатор С3225JB1Н155К ємністю 1,5 мкФ виробництва TDK.

Плюс на частоті $1/(2\pi \cdot R8 \cdot C10)$ компенсується від ESR, що відповідає $1/(2\pi \cdot ESR \cdot C14)$:

$$C10 = \frac{C14 \cdot ESR}{R8} = \frac{2.353 \cdot 10^{-5} \cdot 0.025}{2.5 \cdot 10^3} = 2.305 \cdot 10^{-9} = 2.3 \text{ нФ}. \quad (3.20)$$

Враховуючи зазначені параметри, обрано [17] керамічний конденсатор С1005JB1Н332К ємністю 3,3 нФ виробництва TDK.

3.2 Проектування та розрахунок блоку заряджання акумулятора і модуля акумуляторних батарей

3.2.1 Проектування принципової схеми

Принципову схему залишено відповідно до datasheet [12] на мікросхему MAX1501. Електрична принципова схема наведена на рис. 3.11.

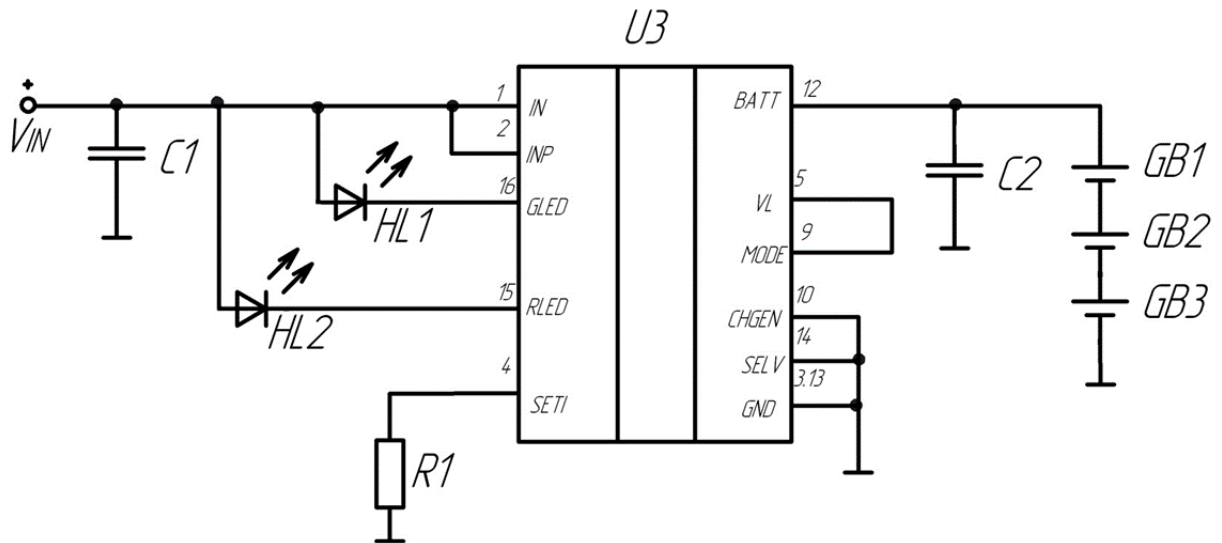


Рисунок 3.11 – Схема підключення мікросхеми MAX1501

3.2.2 Розрахунок схеми підключення

Вибір мікросхеми керування.

Обрано [17] мікросхему MAX1501 (рис. 3.12) — високоефективний інтегрований контролер для заряджання Li+, NiMH та NiCd акумуляторів із підтримкою режимів постійного струму та постійної напруги. Пристрій містить струмочутливий резистор, прохідний р-канальний МОП-транзистор і не потребує зовнішнього діода Шоттки для запобігання зворотному струму.

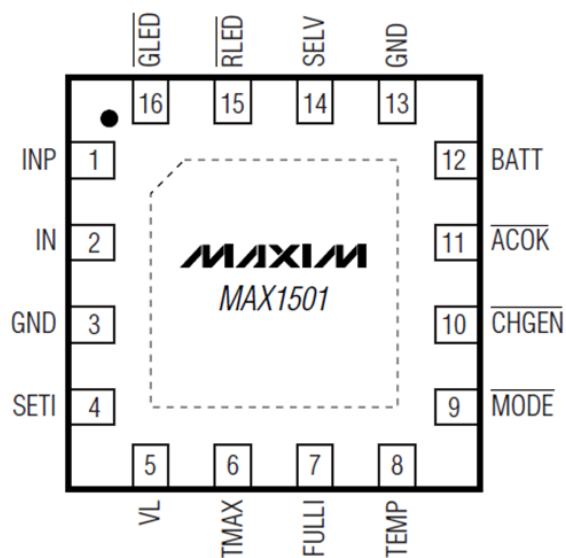


Рисунок 3.12 – Мікросхеми MAX1501

Характеристики MAX1501

PIN	Назва	Функції
1	INP	<u>Сильнострумовий</u> зарядний вхід. INP забезпечує струм зарядки для <u>батарей</u> .
2	IN	Слабкострумовий зарядний вхід.
3, 13	GND	Загальний
4	SETI	<u>Струмочутливий</u> вихід крутості посилення. Резистор підключається від SETI до GND, щоб вибрати максимальний струм заряду та контролювати струм заряду.
5	VL	Лінійний вихід для вибору логічного рівня логіки мікроконтролера
6	TMAX	Вхід для вибору максимального часу заряджання.
7	FULLI	Вхід вибору струму <u>дозаряду</u> .
8	TEMP	Вхід для <u>термоконтролю</u> .
9	MODE	Вхід вибору режиму заряджання.
10	CHGEN	Вхід дозволу заряджання.
11	АСОК	Індикатор вхідної напруги.
12	BATT	Вихід для підключення до акумулятора. Підключається до позитивного полюса батареї. BATT споживає менше 5 <u>мкА</u> після завершення роботи.
14	SELV	Вхід вибору напруги заряду <u>батарей</u> .
15	RLED	Вихід індикатора заряджання акумулятора. Червоний світлодіод підключається катодом RLED а анодом IN.
16	GLED	Вихід повного заряду індикатора. Зелений світлодіод підключається катодом до GLED, а анодом до IN.

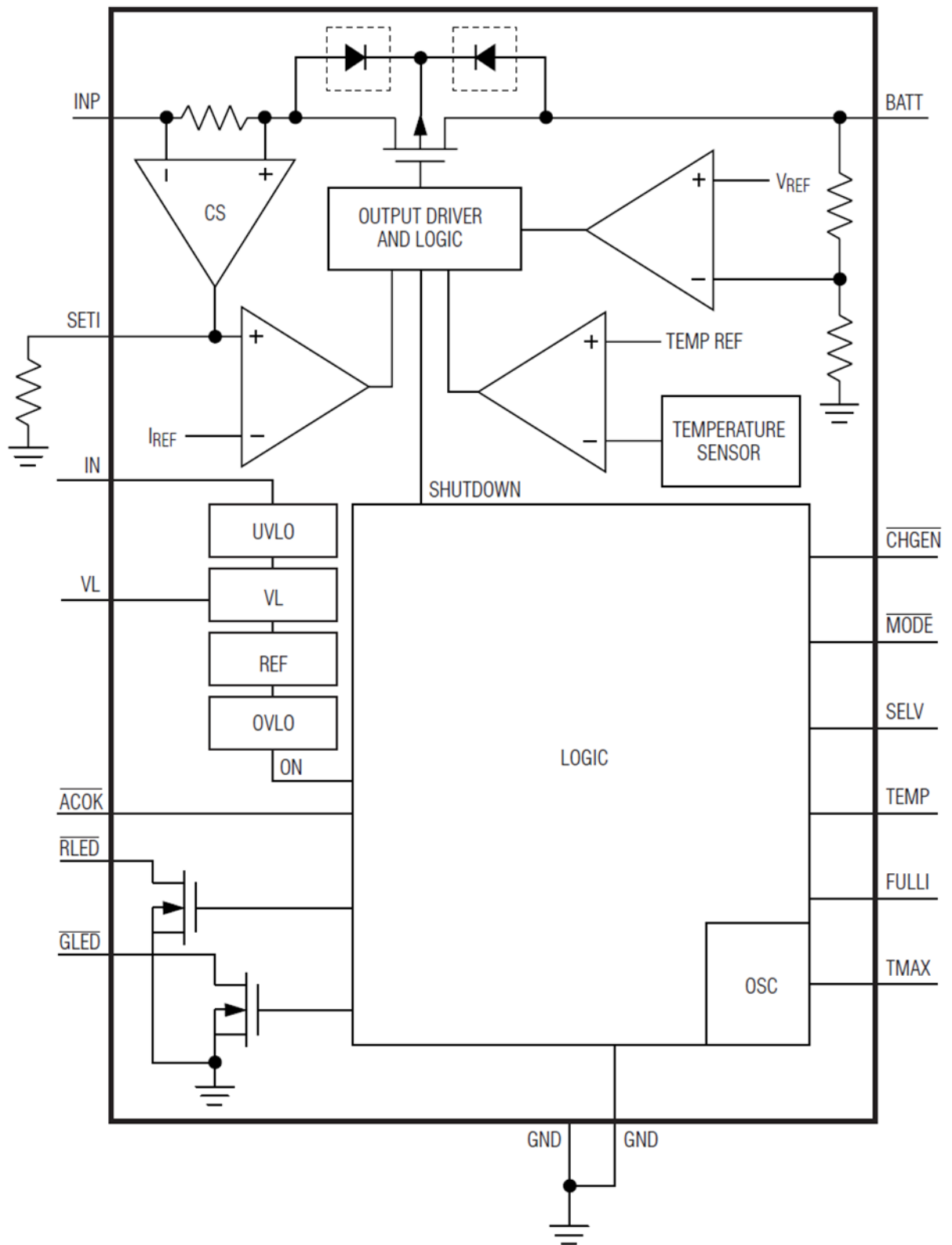


Рисунок 3.13 – Структурна МАХ1501

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

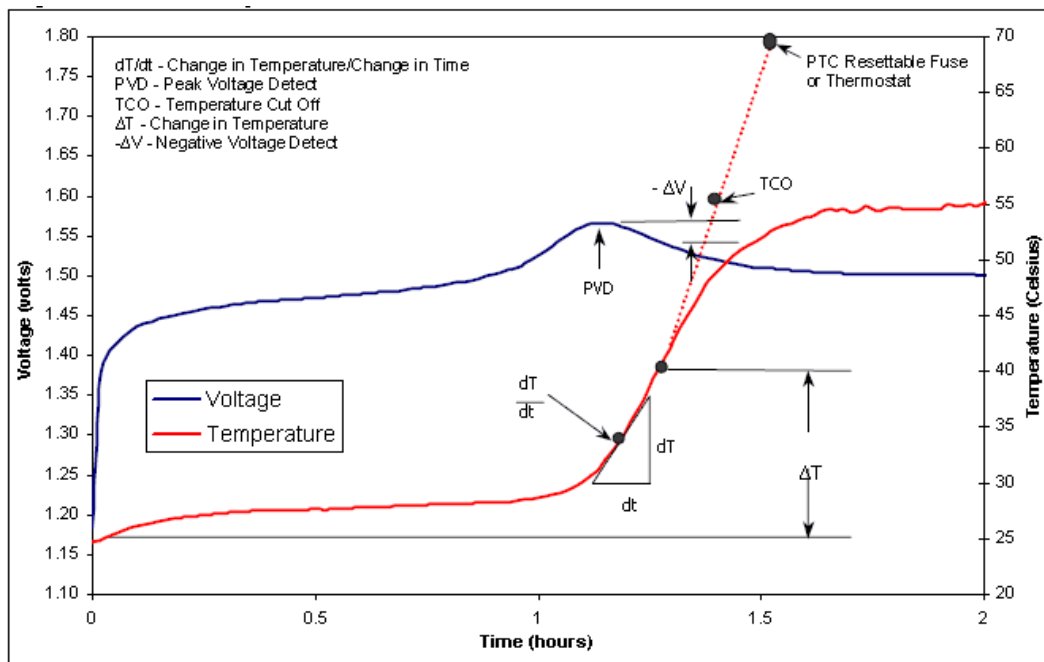


Рисунок 3.14 – Графік процесу заряджання акумуляторів NiMH/NiCd

Після ввімкнення мікросхеми заряд акумулятора починається малим струмом – близько 10% від номінального значення, яке визначається резистором R1. Коли напруга на акумуляторі досягає 2,8 В, струм збільшується, і пристрій переходить у режим швидкого заряджання (fast charge).

При досягненні напруги 4,5 В для NiMH/NiCd або 4,2 В для Li+ струм заряджання поступово зменшується. Коли його величина знижується до 30% від номінальної, загоряється зелений світлодіод HL1, що сигналізує про завершення процесу заряджання. Протягом усього циклу заряджання світиться червоний світлодіод HL2.

Розрахунок резистора, який задає величину зарядного струму:

$$R1 = 1000 \cdot \frac{1.4}{I_{batt}} = 1000 \cdot \frac{1.4}{0.5} = 2800 = 2.8 \text{кОм}, \quad (3.21)$$

де I_{batt} – струм батареї, 500 мА.

Обрано [17] резистор CRCW040228K0FKED.

Вибір стабілізувальних конденсаторів.

Згідно з рекомендаціями виробника мікросхеми MAX1501, для стабілізації слід використовувати керамічні конденсатори з діелектриком X5R та номіналами: C1 – 1 мкФ, C2 – 10 мкФ. Відповідно підібрано [17] конденсатори: C1 – 1210YD108KAT2A, C2 – 1210YD107KAT2A.

Вибір світлодіодної індикації.

Обрано [16] червоний світлодіод ARL-3004URD-150mcd та [16] зелений світлодіод ARL-3514PGD-6cd.

3.3 Проектування та розрахунок вхідного buck-boost перетворювача

3.3.1 Розрахунок схеми buck-boost перетворювача

Розрахунок схеми проводиться аналогічно до розрахунку вихідного понижувально-підвищуючого перетворювача, розглянутого в розділі 3.1.

На основі вихідних даних, визначених у першому розділі, сформуємо параметри для вхідного понижувально-підвищуючого перетворювача.

Вихідні дані:

- вхідна напруга (V_{in}): 3,0–14,0 В;
- вихідна напруга (V_{out}): 5 В;
- вихідний струм (I_{out}): 1,1 А;
- частота перемикання (f_{SW}): 330 кГц.

Принципову схему залишаємо відповідно до даних на мікросхему LM3478.

Для перетворювача SEPIC, який працює в режимі безперервного струму (CCM), коефіцієнт заповнення визначається за формулою:

$$D_{min} = \frac{V_{out} + VD}{V_{in} + V_{out} + VD} = \frac{5 + 0.5}{14 + 5 + 0.5} = 0.282, \quad (3.22)$$

					<i>MPMA 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

$$D_{\max} = \frac{V_{out} + VD}{V_{in \min} + V_{out} + VD} = \frac{5 + 0.5}{3 + 5 + 0.5} = 0.647, \quad (3.23)$$

Обчислення індуктивності.

Значення індуктивності котушок L3 та L4 становить:

$$\Delta IL1 = \Delta IL2 = I_{out} \cdot \frac{V_{out}}{V_{in \min}} = 1.1 \cdot \frac{5}{3} = 0.73 \text{ A}, \quad (3.24)$$

$$L1 = L2 = \frac{V_{in \min}}{\Delta IL1 \cdot f_{SW}} \cdot D_{\max} = \frac{3}{0.73 \cdot 330000} \cdot 0.647 = 8,021 \cdot 10^{-5} = 8 \text{ мкГ}. \quad (3.25)$$

Пікові струми в індуктивності:

$$IL1_{peak} = I_{out} \cdot \frac{V_{in} + VD}{V_{in \min}} \cdot \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 1.1 \cdot \frac{5 + 0.5}{3} \cdot \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 2.42 \text{ A}, \quad (3.26)$$

$$IL2_{peak} = I_{out} + \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 1.1 + \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 1.32 \text{ A}. \quad (3.27)$$

На рис. 3.15 наведено значення струмів IL_{peak} та ΔIL .

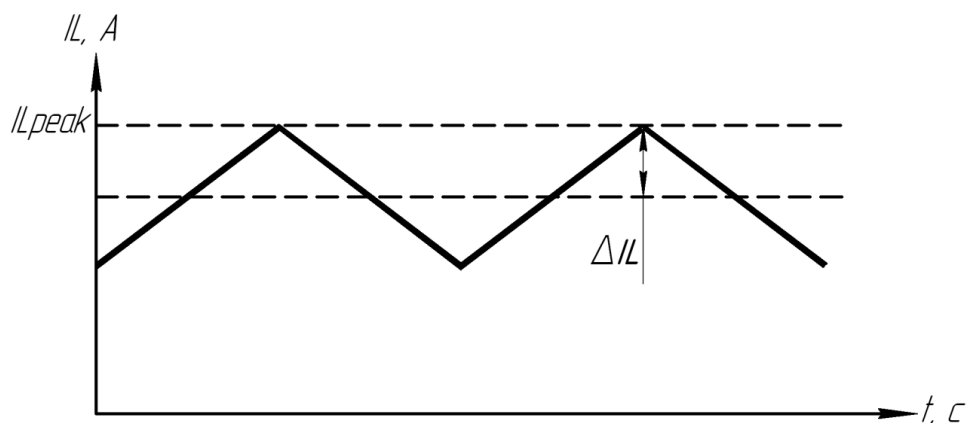


Рисунок 3.15 – Часова діаграма струму через котушку індуктивності

На основі отриманих параметрів обрано індуктивності L1 і L2 моделі SDR1005-150KL виробництва компанії Bourns.

Таблиця 3.12

Характеристики SDR1005-150KL

Параметр	Значення
Ємність, <u>мкГ</u>	10
<u>I_{rms max}</u> , А	2.5
Робоча температура, <u>С°</u>	Від -40 до +125
Опір на постійному струмі <u>RDC max</u> , <u>Ом</u>	0.12
Матеріал серцевини	Ферит
Матеріал дроту обмотки	Емальована мідь

Обчислення параметрів силового MOSFET-транзистора.

Пікове значення напруги на ключовому елементі становить:

$$V_{Q2(peak)} = V_{in\ max} + V_{out} = 14 + 5 = 19V. \quad (3.28)$$

Пікове значення струму через силовий польовий транзистор:

$$I_{Q2(peak)} = I_{L3\ peak} + I_{L4\ peak} = 2.42 + 1.32 = 3.74A. \quad (3.29)$$

Середньоквадратичні струми:

$$I_{Q2(rms)} = I_{out} \cdot \sqrt{\frac{(V_{out} + V_{in\ min}) \cdot V_{out}}{V_{in\ min}^2}} = 1.1 \cdot \sqrt{\frac{(5 + 3) \cdot 5}{3^2}} = 2.319A. \quad (3.30)$$

Розрахункове значення напруги на стоку польового транзистора повинно бути більшим за V_{Q2} .

На рисунку 3.16 подано часові діаграми зміни струму та напруги на польовому транзисторі.

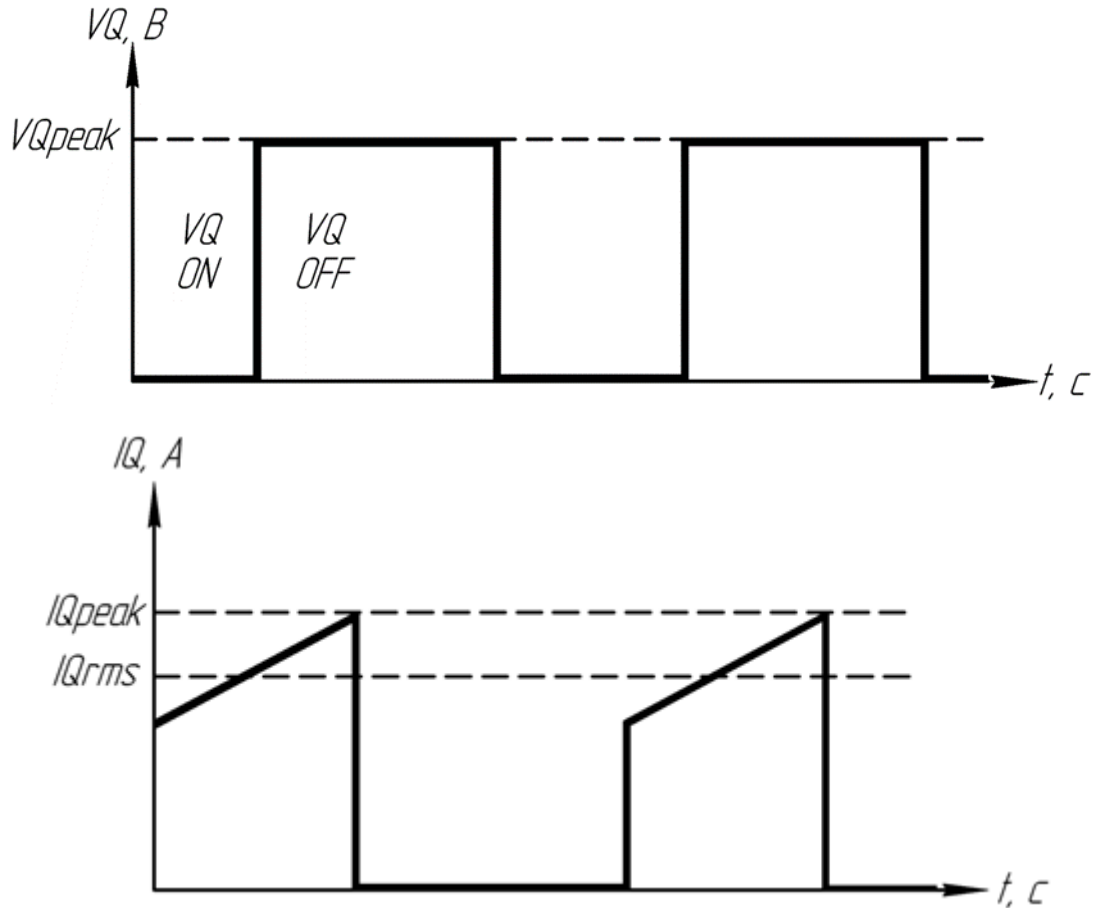


Рисунок 3.16 – Часові діаграми струмів і напруг на транзисторі

Обрано [17] польовий транзистор моделі SI2316BDS-T1-E3 виробництва Vishay-Siliconix.

Очікувані втрати потужності складуть:

$$P_{Q2} = I_{Q2(rms)}^2 \cdot R_{DS(on)} \cdot D_{max} + (V_{in\ min} + V_{out}) \cdot I_{Q2(peak)} \cdot \frac{Q_{GD} f_{sw}}{IG} =$$

$$= 2.319^2 \cdot 0.05 \cdot 0.647 + (3 + 5) \cdot 2.319 \cdot \frac{1.3 \cdot 10^{-9} \cdot 330000}{0.3} = 0.072 \text{ Вт.}$$

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

де $R_{DS(on)} = 0.05 \text{ Ом}$;

$Q_{GD} = 1.3 \text{ нКл}$;

струм управління затвором IG для LM3478 дорівнює 0.3 А.

Обчислення параметрів вихідного діода.

У SEPIC-перетворювачі піковий струм через діод дорівнює піковому струму ключового елемента $I_{Q2(peak)} = 3,74 \text{ А}$.

Мінімальне значення пікової зворотної напруги діода становить:

$$V_{D2} = V_{in \max} + V_{out \max} = 14 + 5 = 19 \text{ В}. \quad (3.31)$$

Середнє значення струму через діод відповідає вихідному струму за умов повного навантаження. Для зниження втрат обрано діод Шотткі моделі B530A виробництва компанії Diodes Inc.

Таблиця 3.13

Характеристики B530A

Параметр	Значення
Максимальна постійна зворотна напруга, В	30
Середній випрямлений струм, А	5
Максимально допустимий прямий імпульсний струм, А	100
Робоча температура, С°	Від -55 до +125

Розрахунок розділового конденсатора.

Дійсне (середньоквадратичне) значення струму через C7:

$$I_{C7(rms)} = I_{out} \cdot \sqrt{\frac{V_{out}}{V_{in \min}}} = 1.1 \cdot \sqrt{\frac{5 + 0.5}{3}} = 1.489 \text{ А}. \quad (3.32)$$

Конденсатор:

$$C7 > L1 \cdot \frac{I_{out}^2}{V_{in}^2} > 4.952 \cdot 10^{-8} \Phi. \quad (3.33)$$

Пульсації напруг:

$$\Delta VC13 = \frac{I_{out} \cdot D_{max}}{C13 \cdot f_{sw}} = \frac{1.1 \cdot 0.647}{8.54 \cdot 10^{-8} \cdot 330000} = 0.216V. \quad (3.34)$$

Розділовий конденсатор розраховується на більший середньоквадратичний струм, ніж необхідно для забезпечення заданої вихідної потужності. Робочу напругу конденсатора обирають вищою за максимальну вхідну напругу.

За рекомендованими виробником параметрами обрано [17] керамічний конденсатор C3225X7R1E106M ємністю 10 мкФ від TDK.

Розрахунки вихідного конденсатора.

Дійсне (середньоквадратичне) значення струму через вихідний конденсатор:

$$IC8(rms) = IC7(rms) = 1.489A. \quad (3.35)$$

Припустимо, що розмах пульсацій від піку до піку становить 2% від вихідної напруги 5 В, тоді ESR (еквівалентний послідовний опір, ЕПС) вихідного конденсатора:

$$ESR \leq \frac{V_{ripple} \cdot 0.5}{IL1_{peak} + IL2_{peak}} = \frac{5 \cdot 0.02 \cdot 0.5}{2.42 + 1.32} = 0.01\Omega. \quad (3.36)$$

де $V_{ripple} = V_{out} \cdot 2\% = 5 \cdot 0.02$.

Номинал вихідного конденсатора:

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

$$C8 > \frac{I_{out} \cdot D_{max}}{V_{ripple} \cdot 0.5 \cdot f_{sw}} = \frac{1.1 \cdot 0.647}{5 \cdot 0.02 \cdot 330000} = 4.314 \cdot 10^{-5} = 43 \mu\text{кФ}. \quad (3.37)$$

Для поверхневого монтажу доцільно застосовувати такі типи конденсаторів: танталові, полімерно-електролітичні, танталополімерні або багатошарові керамічні. Враховуючи ці параметри, обрано електролітичний конденсатор APXE100ARA121MF61G виробництва Nippon Chemi-Con.

Розрахунки вхідного конденсатора.

У SEPIC-перетворювачі присутній вхідний конденсатор. Дійсне (середньоквадратичне) значення вхідного струму:

$$I_{C3(rms)} = \frac{\Delta I L_1}{\sqrt{12}} = \frac{2.42}{\sqrt{12}} = 212 \text{ мА}. \quad (3.38)$$

Враховуючи наведені параметри, обрано конденсатор [17] UUD1E151MCL1GS виробництва Nichicon.

Розрахунки резисторів для зворотного зв'язку.

R3 — верхній резистор, а R7 — нижній резистор подільника напруги.

Опорна напруга зворотного зв'язку V_{ref} становить 1.26 В. Приймаємо R7 = 30 кОм, тоді:

$$R3 = \frac{V_{ref}}{V_{out} - V_{ref}} \cdot R7 = \frac{1.26}{5 - 1.26} \cdot 30000 = 10.106 \cdot 10^3 \text{ Ом}. \quad (3.39)$$

Враховуючи зазначені параметри, обрано резистори [17] R3-CRCW040210K0FKED та R13-CRCW040230K0FKED виробництва Vishay-Dale.

Розрахунок резистора, що визначає частоту.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Опір R5 приймаємо рівним 55 кОм.

Розрахунок струмозадавального резистора.

Поріг спрацювання схеми захисту за струмом для мікросхеми LM3478 становить 120 мВ. Після врахування напруги пилкоподібної компенсації залишається приблизно 75 мВ. Тоді опір шунтового резистора становить:

$$R6 = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{IQ2(peak)} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{3.74} = 0.020 \text{ Ом.} \quad (3.40)$$

Враховуючи наведені параметри, обрано [17] резистор CSR0402FT20L0 виробництва Stackpole Electronics Inc.

Також підібрано [17] резистор CRCW040195R0FKED компанії Vishay-Dale.

Конденсатор C5 підбираємо таким чином, щоб забезпечити 1/4 від частоти зрізу:

$$C5 = \frac{4}{2\pi \cdot f_c \cdot R2} = \frac{4}{2 \cdot 3.14 \cdot 2.963 \cdot 10^3 \cdot 338} = 63 \text{ мкФ.} \quad (3.41)$$

Виходячи з параметрів, обрано [17] керамічний конденсатор C5750JF1C107Z ємністю 100 мкФ виробництва TDK.

Полос на частотах $1/(2\pi \cdot R8 \cdot C4)$ компенсує нуль, зумовлений еквівалентним послідовним опором (ESR), який дорівнює $1/(2\pi \cdot ESR \cdot C8)$:

$$C4 = \frac{C8 \cdot ESR}{R2} = \frac{4.314 \cdot 10^{-5} \cdot 0.01}{338} = 1.315 \cdot 10^{-9} = 1.3 \text{ нФ.} \quad (3.20)$$

Враховуючи задані параметри, обрано [17] керамічний конденсатор C1005JB1H332K ємністю 3,3 нФ виробництва TDK.

					<i>MPMA 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Висновки до третього розділу

У цьому розділі виконано детальні розрахунки основних елементів електричної схеми побутового пристрою для заряджання літій-іонних акумуляторів. Під час роботи було визначено параметри компонентів, необхідних для забезпечення стабільної роботи перетворювача, високої ефективності енергопередачі та безпечного процесу заряджання. Отримані результати дають можливість обґрунтовано підібрати елементи схеми та забезпечити оптимальні умови функціонування пристрою.

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		65

ВИСНОВКИ

У даній роботі було проаналізовано принцип роботи зарядних станцій, визначено їхні основні переваги, недоліки та здійснено класифікацію, а також розглянуто різновиди акумуляторних батарей. Встановлено основні способи поповнення енергетичного запасу портативних пристроїв, зокрема:

1. Використання штатного зарядного пристрою, що постачається в комплекті, або універсального, який має відповідні електричні параметри та підходить для декількох моделей пристроїв.

2. Застосування попередньо зарядженого додаткового акумулятора аналогічної моделі або сумісного за габаритами й характеристиками.

3. Використання портативного універсального джерела живлення.

На основі аналізу побутових зарядних станцій було спроектовано власний переносний накопичувач енергії, який поєднує кращі властивості розглянутих рішень. Розроблений пристрій призначений для заряджання мобільних гаджетів і літій-іонних акумуляторів із форм-факторами від 10440 до 26650 за максимального струму 2000 мА. Конструкція передбачає наявність вихідного USB-роз'єму типу А, а також вхідних роз'ємів miniUSB типу В, USB типу В, роз'єму для підключення зарядного пристрою з вхідною напругою 5 В постійного струму та клем для підключення джерела живлення з діапазоном 3–14 В. У ролі накопичувача енергії використовуються NiMH акумуляторні батареї типорозміру AA.

Виконано детальні розрахунки основних елементів електричної схеми побутового пристрою для заряджання літій-іонних акумуляторів. Під час роботи було визначено параметри компонентів, необхідних для забезпечення стабільної роботи перетворювача, високої ефективності енергопередачі та безпечного процесу заряджання. Отримані результати дають можливість обґрунтовано підібрати елементи схеми та забезпечити оптимальні умови функціонування пристрою.

					<i>MPMA 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Войтович І. А. Розробка фотоелектричної зарядної станції для легкових електромобілів : магістерська робота / І. А. Войтович ; наук. кер. А. М. Лупенко ; Терноп. нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя. Тернопіль, 2025. 78 с.
2. Будко В. І. Економічні аспекти реалізації автономних зарядних станцій електроживлення на основі фотоелектричних батарей / В. І. Будко // Відновлювальна енергетика. 2018. № 1 (52). С. 19–25.
3. Вінниченко Д. М. Розробка методу частотного регулювання вихідної напруги зарядних пристроїв ємнісних накопичувачів енергії / Д. М. Вінниченко, О. В. Биков // Електроенергетика, енергетика та електротехніка. 2023. № 2. С. 45–52.
4. Ромашко В. Я. Регулятори підвищувально-понижувального типу в системах зарядки акумуляторів / В. Я. Ромашко. Харків : ХПІ, 2022. 120 с.
5. Лупенко А. М. Сучасні фотоелектричні системи зарядки транспортних засобів / А. М. Лупенко // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Енергетика майбутнього". Тернопіль, 2024. С. 112–118.
6. Sueker K. H. Power Electronics Design: A Practitioner's Guide / K. H. Sueker. Oxford : Newnes, 2005. 402 p.
7. Rashid M. H. Handbook of Power Electronics in Autonomous and Electric Vehicles / M. H. Rashid. Amsterdam : Elsevier, 2024. 448 p. ISBN 978-0-323-99545-0.
8. Kishan D. Power Electronics for Electric Vehicles and Energy Storage: Emerging Technologies and Developments / D. Kishan, V. Luckose, R. Kannan. London : Routledge, 2025. 350 p. ISBN 978-1-032-45678-9.
9. Barsukov Y. Battery Power Management for Portable Devices / Y. Barsukov, J. Qian. Boston : Artech House, 2025. 400 p. ISBN 978-1-66549-000-5.

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

10. Irfan J. Techniques for Battery Charger System / J. Irfan, J. Zhao. Saarbrücken : LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 92 p. ISBN 978-3-659-40975-2.

11. Koleti U. R. The Development of Optimal Charging Protocols for Lithium-Ion Batteries / U. R. Koleti et al. // Journal of Energy Storage. 2021. Vol. 42. P. 103–115. DOI: 10.1016/j.est.2021.103082.

12. Kim S.-M. Single-Phase Bidirectional On-Board Charger Using Starter Generator System in Hybrid Electric Vehicles / S.-M. Kim, H.-S. Kang, K.-B. Lee // Electronics. 2018. Vol. 7, iss. 11. P. 287. DOI: 10.3390/electronics7110287.

13. Texas Instruments. Designing A SEPIC Converter / Application Note AN-1484. Dallas : Texas Instruments, 2013. 12 p.

14. ON Semiconductor. SEPIC Converter Analysis and Design / Application Note AND90136/D. Phoenix : ON Semiconductor, 2016. 8 p.

15. Texas Instruments. 2003-2004 Portable Power Design Seminar : Seminar Text Book. Dallas : Texas Instruments, 2004. 250 p.

16. Maddula A. Developing Charging Infrastructure and Technologies for Electric Vehicles / A. Maddula. Hershey : IGI Global, 2022. 344 p. ISBN 978-1-6684-6163-1.

17. Vinnychenko D. Development of a DC-DC Converter for Active Battery Balancing Systems / D. Vinnychenko et al. // Electronics and Control Systems. 2024. № 1. P. 45–52.

18. Levchenko S. A. Modeling of Structural Elements of Energy-Economic Systems for Charging Stations / S. A. Levchenko. Zaporizhzhia : ZNU, 2024. 95 p.

					<i>MPMA 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

ДОДАТКИ

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69