

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему **Розроблення проєкту конверсії мотоцикла з двигуном
внутрішнього згорання на електротягу**

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-МЕ
Спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Левенських І.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник Трет'як А.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Захарченко Р.В.
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2025 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
 Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
 робототехніки
 Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
 Ступінь вищої освіти Бакалавр
 Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматки,
 електроніки та телекомунікацій

О.В. Шефер

«01» квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ СТУДЕНТУ

Левенських Івану Миколайовичу

1. Тема роботи «Розроблення проєкту конверсії мотоцикла з двигуном внутрішнього згорання на електротягу»
 керівник роботи Трет'як Андрій Валерійович, к.т.н.
 затверджена наказом вищого навчального закладу від 03. березня. 2025 року
 № 306/1-ф.а.
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 10.06.2025 р.
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Документація на мотоцикл з ДВЗ промислового виробництва з просторовою рамою. Документація на тяговий BLDC двигун. Документація на тягову LiFePO батарею 48В. Рекомендований запас ходу мотоцикла до 120км.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Огляд та аналіз КІТ конструкцій, що існують, для переобладнання транспортних засобів. Огляд типів тягових батарей. Огляд конструкцій тягових двигунів для електротранспорту. Розроблення структури та підбір основного тягового обладнання мотоцикла. Розрахунок запасу хода мотоцикла. Розрахунок вартості конверсії мотоцикла.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 - 1) актуальність, мета та задачі розроблення;
 - 2) - 3) огляд та аналіз КІТ конструкцій;
 - 4) аналіз та вибір тягових батарей;
 - 5) вибір тягового приводу
 - 6) запропонована структура тягового обладнання мотоцикла;
 - 7) тягово-швидкісні та ходові графічні залежності;
 - 8) загальні висновки по роботі;

6. Дата видачі завдання 01.04.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Дата початку	Категорія	Відсоток	
1	Огляд та аналіз КІТ конструкцій для електрофікації	22.04.25	I	20%	Пл. 1
2	Аналіз та вибір тягових батарей;	08.05.25		40%	Пл. 2,3
3	Вибір тягового приводу, запропонована структура тягового обладнання мотоцикла	22.05.25	II	60%	Пл. 4,5
4	Тягово-швидкісні та ходові графічні залежності	30.05.25		80%	Пл. 6
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	10.06.25	III	100%	Пл. 7,8

Студент



(підпис)

Левенських І.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Трет'як А.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра «Розроблення проєкту конверсії мотоцикла з двигуном внутрішнього згорання на електротягу»

Робота містить 53 сторінок, 20 рисунків, 3 таблиці, 18 використаних джерел.

Ключові слова: конверсія, потужність, сила струму, ємність, двигун внутрішнього згорання, акумуляторна батарея, BLDC двигун, контролер.

Об'єктом розроблення кваліфікаційної роботи бакалавра є розробка проєкту по переобладнанню мотоциклу промислового виробництва на мототранспорт на електротязі.

Метою данної кваліфікаційної роботи є конверсія мотоцикла з двигуном внутрішнього згорання промислового виробництва на електротягу з ціллю збільшення динамічних характеристик шляхом заміни заводського двигуна, електроустановкою.

Проєкт був розроблений з використанням сучасних доступних комплектуючих такі як: BLDC двигун з контроллером коєрування в режимі рекуперації для самого двигуна; багатоскладова Li-ion батарея з можливістю покращення характеристик та можливістю індивідуального ремонту пошкоджених комірок з використанням BMS-плати балансування що забезпечує безпечну експлуатацію акумуляторної багатоскладової батареї.

Данна робота має користь як основа для створення подібних проєктів по конверсії транспорту з двигуном внутрішнього згорання на електротягу.

ABSTRACT

of the bachelor's thesis “Development of a project for converting a motorcycle from an internal combustion engine to electric traction”

The work contains 53 pages, 20 figures, 3 tables, 18 sources used by

Keywords: conversion, power, current, capacity, internal combustion engine, battery, BLDC motor, controller.

The object of the bachelor's thesis is to develop a project to convert an industrial motorcycle into an electric motor vehicle.

The purpose of this qualification work is to convert a motorcycle with an industrial internal combustion engine to electric traction in order to increase dynamic performance by replacing the factory engine with an electric installation.

The project was developed using modern available components such as: BLDC motor with a regenerative control controller for the motor itself; multi-cell Li-ion battery with the ability to improve performance and the possibility of individual repair of damaged cells using a BMS-balancing board that ensures safe operation of the multi-cell battery.

This work is useful as a basis for creating similar projects to convert vehicles from internal combustion engines to electric traction.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ КОМПЛЕКТУ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОФІКАЦІЇ.....	9
1.1 Огляд безщіткового двигуна постійного струму для проведення електрофікації.....	9
1.2 Конструкція двигуна BLDC.....	11
1.3 Основні робочі параметри для BLDC двигуна.....	13
1.4 Огляд типів котнтроллера для керування BLDC двигуна.....	15
2 АНАЛІЗ ТА ВИБІР ТЯГОВИХ БАТАРЕЙ.....	17
2.1 Огляд тягових батарей та їх відмінності.....	17
2.2 Принцип роботи Li-ion АКБ	18
2.3 Типи та різновиди Li-ion АКБ	19
2.4 Ємність акумуляторної батареї та її залежність від струму розряду.....	23
2.5 Висновки до розділу.....	25
3 ВИБІР ТЯГОВОГО ПРИВОДУ, ЗАПРОПОНОВАНА СТРУКТУРА ТЯГОВОГО ОБЛАДНАННЯ.....	26
3.1 Вибір двигуна для конверсії мотоцикла.....	26
3.2 Вибір контроллера керування BLDC двигуном.....	29
3.3 Вибір джерела живлення для електротягового обладнання.....	32
3.4 Вибір захисних мір безпеки експлуатації акумуляторної батареї.....	39
3.5 Висновки до розділу.....	43
4 ТЯГОВО-ШВИДКІСНІ ТА ХОДОВІ ЗАЛЕЖНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ.....	44
4.1 Паспортні характеристики двигуна.....	44
4.2 Швидкісні характеристики в конфігурації конверсії мототранспорту.....	46
4.3 Розрахунок дальності ходу транспортного засобу.....	48
ВИСНОВКИ.....	51
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА.....	52
ДОДАТКИ.....	54

ВСТУП

На Сьогоднішній день мало кого можна здивувати транспортом на електротязі, або на гібридній тязі у поєднанні з двигуном внутрішнього згорання. Стосується це також сфери двохколісного мототранспорту, проте в мотоіндустрії електротяга являється не популярним рішенням для споживача по причині високої ціни за транспорт який не має переваг класичного мотоцикла з двигуном внутрішнього згорання. Одним з переваг сучасних мотоцикла з двигуном внутрішнього згорання перед мотоциклом на електротязі являються конструктивні переваги ходової частини: ходова, підвіска, гальмівна система та інше. У транспорта на електротязі немає таких переваг перед класичним мотоциклом немає так як це нове направлення в мотоінженерії яке з'явилося недавно проти досвіду який карбувався десятиліттями в виробників транспорта на двигуні внутрішнього згорання.

Одним з рішень являється конверсія мотоцикла з двигуном внутрішнього згорання на електричну тягу зі збереженням всіх переваг заводської техніки та переходом на електричну тягову установку.

Конверсія мотоцикла — це не лише спосіб продовжити життя улюбленого байка, а й можливість зробити його сучаснішим, тихішим і значно економнішим в експлуатації.

Актуальність теми полягає в тому щоб зберегти переваги класичного мототранспорту який проектувався й удосконалювався десятиліттями з використанням сучасних технологій та використати сучасні технології в сфері електроприводу. Це робить переобладнання в електробайк не лише економічно, а й екологічно обґрунтованим рішенням.

Науково-технічні проблеми – одною із них являється низький коефіцієнт корисної дії двигуна внутрішнього згорання що являє собою в середньому 25-55% проти ККД електродвигуна що становить в середньому 75-90%. Це означає що таке рішення може значно збільшити ефективність тягової установки транспортного засобу та покращити динамічні характеристики.

Метою данної кваліфікаційної роботи є конверсія мотоцикла з двигуном внутрішнього згорання промислового виробництва на електротягу з ціллю збільшення динамічних характеристик шляхом заміни заводського двигуна, електроустановкою. Це рішення також має в собі значне практичне та економічне обґрунтування, адже дозволяє зберегти надійні та технічно відпрацьовані вузли заводського виробництва, такі як ходова частина, гальмівна система та елементи шасі, що значно зменшує загальні витрати на побудову електричного мотоцикла. При цьому кінцевий результат може мати не гірші, а іноді й кращі технічні характеристики у порівнянні з серійними електробайками при значно меншій вартості.

Використання сучасних компонентів електроприводу дозволяє не лише покращити динамічні властивості транспортного засобу, а й забезпечити значну економію у процесі експлуатації, знизити рівень шуму та вібрацій, а також зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, а також збільшити надійність конструкції з використанням електротягової установки інтегрованої в транспортний засіб.

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ КОМПЛЕКТУ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОФІКАЦІЇ

1.1 Огляд безщіткового двигуна постійного струму для проведення електрофікації.

Безщітковий двигун постійного струму досить розповсюджений в таких галузях як: автоматизація промисловості, автомобілебудівній галузі, ШІ, авіаційній промисловості та багатьох інших галузях через його надійність, безшумність в роботі та достатньо високу потужність. Двигуни можуть бути різних розмірів і типів, та практично ми можемо вибрати двигун, який відповідає нашим вимогам.

За конструкцією безщіткові двигуни постійного струму розподіляються на два основних типи: тип Inrunner і тип outrunner - вони працюють за однаковим принципом, але мають різні переваги та обмеження. Двигуни типу Inrunner розміщують статор (нерухомий елемент) зовні, а ротор (обертовий елемент) усередині, тобто ротор обертається всередині статора. Двигуни Outrunner мають протилежну конструкцію: статор розміщений всередині, ротор зовні, а зовнішній ротор обертається навколо статора в центрі. Отже, безщіткові двигуни Outrunner BLDC мають менший діаметр та більшу частоту обертання, що робить їх більш придатними для високооберткових застосувань, тоді як безщіткові двигуни зовнішнього обертання мають більший діаметр і краще відводять тепло, що полегшує використання крутного моменту на низьких швидкостях та підходить до малооберткових інструментів та приладів, транспортних засобів, тощо.

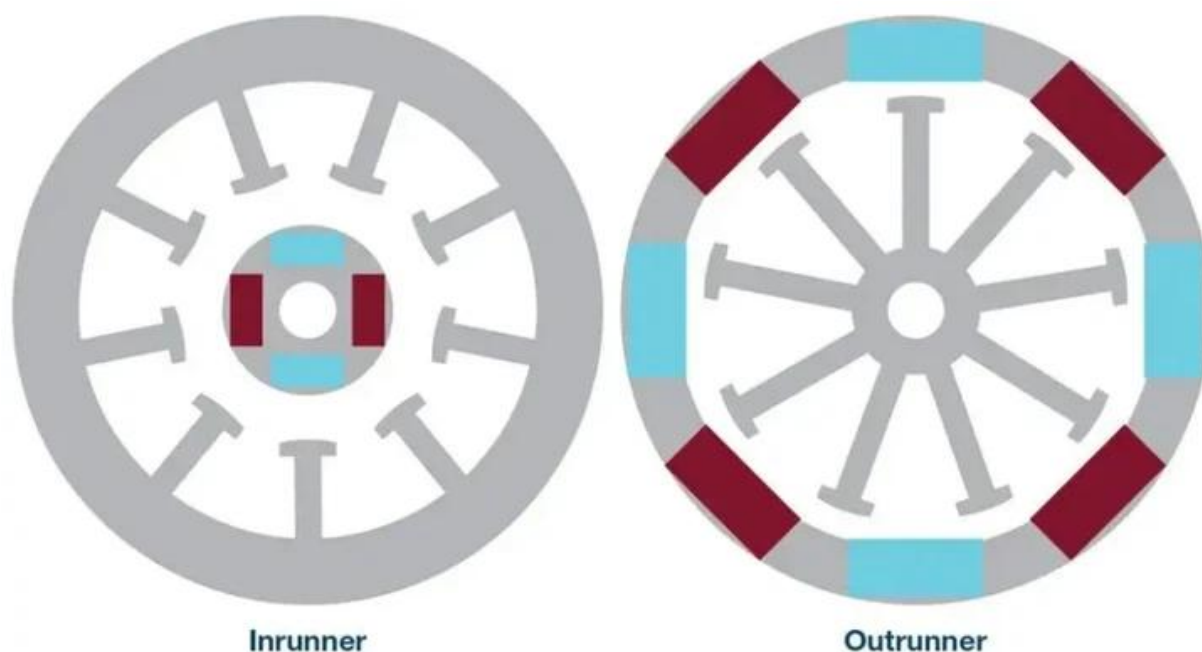


Рисунок 1.1 - Відмінності BLDC двигунів типа inrunner і outrunner

В залежності від того, мають датчики чи ні, двигуни також поділяються на двигуни із датчиками та двигуни без датчиків. Вибір між ними зазвичай залежить від їхньої вартості. Безсенсорні двигуни дуже часто використовуються в таких випадках, як недорогі двигуни зі змінною швидкістю: вентилятори, компресори холодильників, кондиціонери та садові інструменти. Однак умови, які вимагають високого крутного моменту під час запуску, такі як електричні інструменти та електровелосипеди і малогабаритний електротранспорт вимагають використання двигунів із датчиками.

Крім того, з точки зору використання матеріалів, ми надаємо перевагу феритовим двигунам з високим ККД, низькою ціною і низьким температурним режимом. Двигуни з використанням рідкоземельних металів або Alnico BLDC двигуни, слід розглядати лише у випадку суворих вимог до продуктивності, малих розмірів, тяжких умов експлуатації і високої температури навколишнього середовища.

1.2 Конструкція двигуна BLDC

Безщітковий двигун постійного струму, також відомий як електронно комутований двигун (синхронний двигун постійного струму), є різновидом синхронного двигуна, що використовує джерело постійного струму (DC). Він перетворює енергію постійного струму в механічну та поєднує в собі переваги двигунів постійного та змінного струму (AC). Порівняно з традиційним щітковим двигуном постійного струму він має такі переваги, як проста конструкція, досить тривалий термін служби та висока енерго ефективність.

Статор

Статор двигуна є одним із ключових компонентів двигуна і відповідає за створення магнітного поля для обертання двигуна. Статор зазвичай складається з набору синхронізованих котушок, які збуджуються електричним струмом для створення обертового магнітного поля. Це магнітне поле є силою, яка приводить в рух двигун, подібно до того, як магнітне поле Землі взаємодіє з обертанням планети. Через збудження електричним струмом магнітне поле статора вступає в взаємодію з ротором, в наслідок чого приводиться в рух двигун.

Ротор

У двигуні ротор є обертальною частиною двигуна і відповідає за перетворення електричної енергії в механічну. На відміну від звичайних двигунів постійного струму, ротор безщіткового двигуна не містить щіток постійного струму. Як правило, ротор складається з потужних постійних магнітів, які приводять у рух вал двигуна, взаємодіючи з магнітним полем, створюваним статором. Така конструкція не тільки підвищує ефективність двигуна, але й покращує момент відгуку, дозволяючи двигуну швидше реагувати на різноманітні ситуації. Конструкція ротора і вибір матеріалу безпосередньо визначають потужність і динамічні характеристики двигуна.

Датчик Холла

Безщіточні двигуни постійного струму часто оснащені датчиками Холла, які є інтелектуальними пристроями, що використовуються для контролю положення та швидкості ротора. Датчики Холла здатні виявляти зміни в магнітному полі в реальному часі, точно визначаючи положення ротора. Ця інформація надходить назад до системи керування двигуном, що дозволяє регулювати струм у режимі реального часу для більш точного керування рухом. Ця інтелектуальна система моніторингу покращує продуктивність і стабільність двигуна та забезпечує чудову продуктивність за будь-яких умов експлуатації.

Використання датчиків Холла дозволяє розумніше й точніше керувати двигунами для широкого спектру промислових і комерційних застосувань.

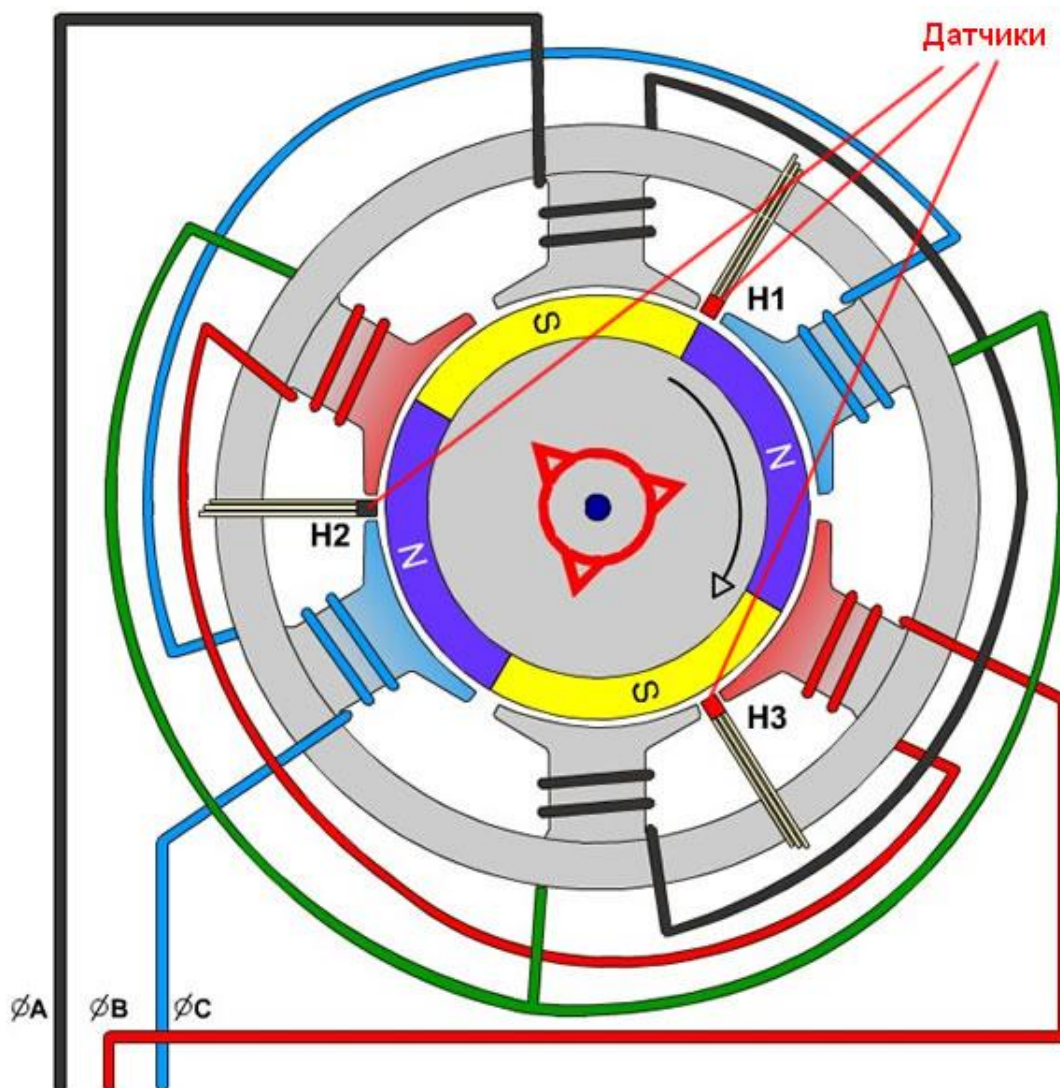


Рисунок 1.2 – Внутрішня будова BLDC двигуна

1.3 Основні робочі параметри двигуна

При виборі безщіткового двигуна постійного струму потрібно орієнтуватися для якої задачі буде використовуватися сам двигун. Це одні із найважливіших факторів при виборі двигуна. В пераметри входять – швидкість обертання, потужність і крутний момент.

Крутний момент

Крутний момент двигуна — це сила обертання його валу. Момент обертання визначає потужність вашого двигуна та його тягові характеристики. Вимірюється в ньютон-метрах $N \cdot m$ або в кілограм-сила-метрах $kg \cdot m$. Чим вищий крутний момент, тим більше навантаження може витримати двигун і тим більшою буде продуктивність двигуна.

До максимального крутного моменту необхідно також враховувати квадратичний крутний момент (RMS) двигуна. Він визначається декількома факторами: максимальний крутний момент, момент навантаження, момент інерції, прискоренням, сповільнення та час роботи.

Швидкість обертання

Швидкість двигуна представлена значенням KV, KV - обертами на вольт, або RPM/V, що вказує, скільки разів двигун обертатиметься на вольт. Максимальну швидкість (RPM) двигуна можна визначити, просто помноживши значення KV на напругу акумулятора.

$$RPM = KV \cdot U \quad (1.1)$$

Згідно з формулою, швидкість безщіткового двигуна теоретично лінійно залежить від напруги. значення KV - це величина, на яку оберти двигуна збільшуються з кожним вольт-добавленням напруги. Якщо напруга зростає, двигун обертається швидше.

Двигуни електровелосипедів та електробайків обертаються зі швидкістю кілька сотень обертів за хвилину, а двигуни електромобілів мають вищу

швидкість обертання: до кількох тисяч обертів або десятків тисяч обертів на хвилину. Якщо завдання для двигуна потребує більшої потужності та нижчої швидкості – використовується КПП (коробка перемикачів передач) та редуктори.

Потужність двигуна

Потужність електродвигуна – це міра, що характеризує швидкість виконання роботи електродвигуном, тобто кількість енергії, яку він може перетворити в механічну роботу за одиницю часу. Вона вимірюється у ватах (Вт) або кінських силах (к.с.).

Потужність двигуна слід вибирати відповідно до потужності яка необхідна для виконання певних задач.

При виборі слід звернути увагу на наступні два моменти:

- Якщо потужність двигуна вибрано занадто мало, це призведе до перевантаження двигуна протягом тривалого періоду часу, що призведе до перегрівання двигуна, вібрації, падіння швидкості, наявності стороннього звуку при роботі двигуна тощо. У серйозних випадках двигун може вийти з ладу.

- Якщо потужність двигуна дуже велика, його вихідна механічна потужність не може бути повністю використана, а коефіцієнт потужності та ККД будуть невисокі, що не добре не тільки для користувача та мережі, але і для економії електроенергії.

Тому важливо вибрати двигун із прийнятною потужністю відповідно до поставленої задачі. Вибрати двигун можна за формулою розрахунку значень трьох параметрів: потужності, крутного моменту та швидкості.

Швидкість (об/хв) v

Потужність (Вт) P

Крутний момент (Нм) M

$$P = \frac{M \cdot v}{g} \quad (1.2)$$

1.4 Огляд типів контролера для керування двигуна

Для керування збільшенням обертів двигуна потрібен контролер який буде керувати самим двигуном. В даний момент на ринку можна розглянути 2 типа контролерів по способу керування:

– **Управління Швидкістю** (оборотами) із постійним моментом. Цей тип контролерів підтримує переважно однаковий момент на валу двигуна у всьому робочому діапазоні обертів. Оберти безпосередньо регулюються ручкою (педаллю) газу. Даний тип керування добре підходить для керування двигунами з невеликим навантаженням на валу (вентилятори). Якщо встановити його на транспортний засіб, то при старті буде невеликий момент, і відповідно з мінімальним прискоренням.

– **Управління моментом** на валу двигуна. На холостих обертах двигун завжди набирає максимальні оберти, але під навантаженням такого не відбувається. За допомогою ручки або педалі газу, нарощуючи момент, під навантаженням оберти зростають аналогічно бензиновим двигунам, забезпечується плавне наростання потужності та швидкості під час руху, виключаючи шкідливий вплив на механічні вузли. Якщо встановити його на транспортний засіб, то під час старту буде максимальний момент, з хорошим прискоренням.

Також BLDC контролери можна поділити за типом та способом керування самого двигуна а саме :

– **Синусний контролер** забезпечує подачу струму у вигляді синусоїдальних сигналів, що дозволяє досягти плавної та малошумної роботи електродвигуна. Такий тип керування є відносно простим у реалізації та налаштуванні, що робить його популярним у невеликих транспортних засобах, таких як електровелосипеди, самокати чи малі електроскутери. Серед основних переваг синусного керування можна відзначити зменшення вібрацій, зниження шуму та покращення комфортності ходу, особливо на малих обертах. Однак цей тип контролера поступається векторному в плані ефективності використання енергії, точності динамічного керування та адаптації до змінних навантажень.

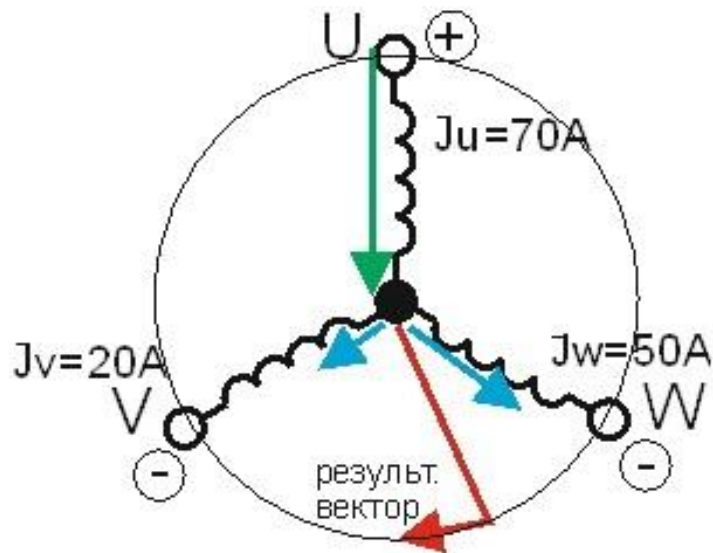


Рисунок 1.4 Принцип синусоїдального керування BLDC двигуном

– **Векторне керування** або керування орієнтоване на вектор магнітного поля базується на математичному перетворенні координат струму в системі обмоток, що дозволяє точно керувати напрямком та величиною електромагнітного моменту. Такий підхід забезпечує високу ефективність тягової установки в усьому діапазоні обертів і навантажень. Векторне керування дозволяє значно покращити динаміку, стабільність обертів, керування крутним моментом, а також досягати кращих результатів у роботі під навантаженням та при русі з мінімальною швидкістю.

2 АНАЛІЗ ТА ВИБІР ТЯГОВИХ БАТАРЕЙ

2.1 Огляд тягових батарей та їх відмінності

Для переведення мотоцикла на електротягу потрібно обрати тип батареї, який найкраще підходить для данного транспортного засобу.

АКБ за типом поділяються на свинцево-кислотні, літій-іонні, нікель-кадмієві, літій-кобальтові, літій-марганцеві, літій-полімерні, літій-залізо-фосфатні, літій-титанатні, літій-нікель-марганець-кобальт-оксидні, гелеві, графенові, нікелево-залізні.

Одними з найрозповсюдженіших типів батарей є:

– **Свинцево-кислотні.**

Бувають чотирьох типів призначення: стаціонарні – для енергетичного обладнання, портативні – для електроінструменту та портативних приладів, тягові – для транспортних засобів, стартерні – для запуску двигунів внутрішнього згорання.

Відрізняються дешевизною, надійністю, простотою виготовлення.

– **Літій-іонні.**

Використовуються в побутовій техніці, електроніці, електроінструментах, приладах. Відрізняються великою ємністю, малогабаритністю, простотою експлуатації в різних умовах (температура, вологість, вібрації).

– **Нікель-кадмієві.**

Використовуються в приладобудуванні, електрокарах, кораблебудуванні, міському транспорті. Відрізняються широким функціоналом, великим ресурсом циклу заряд-розряд.

2.2 Принцип роботи Li-ion АКБ

Основа конструкції Li-ion батарей – це анод, який виготовлений з вуглецю, і катод, виконаний з оксиду літію. Ізолятором є сепаратор, виготовлений з різноманітного пластику пористої структури, який пропитаний електролітом, що виконує роль провідника. Всі елементи укладені в герметичний корпус. У деяких акумуляторах передбачений клапан, який відповідає за скидання надлишкового тиску всередині конструкції.

Li-ion АКБ дуже погано переносять надлишковий заряд. Надмірний заряд призводить до нагромадження металевого літію на поверхні анода. Цей осад потім розпочинає реакцію з електролітом внаслідок чого на катоді починає активно виділятися кисень. В наслідок чого батарея нагрівається та може вийти з ладу.

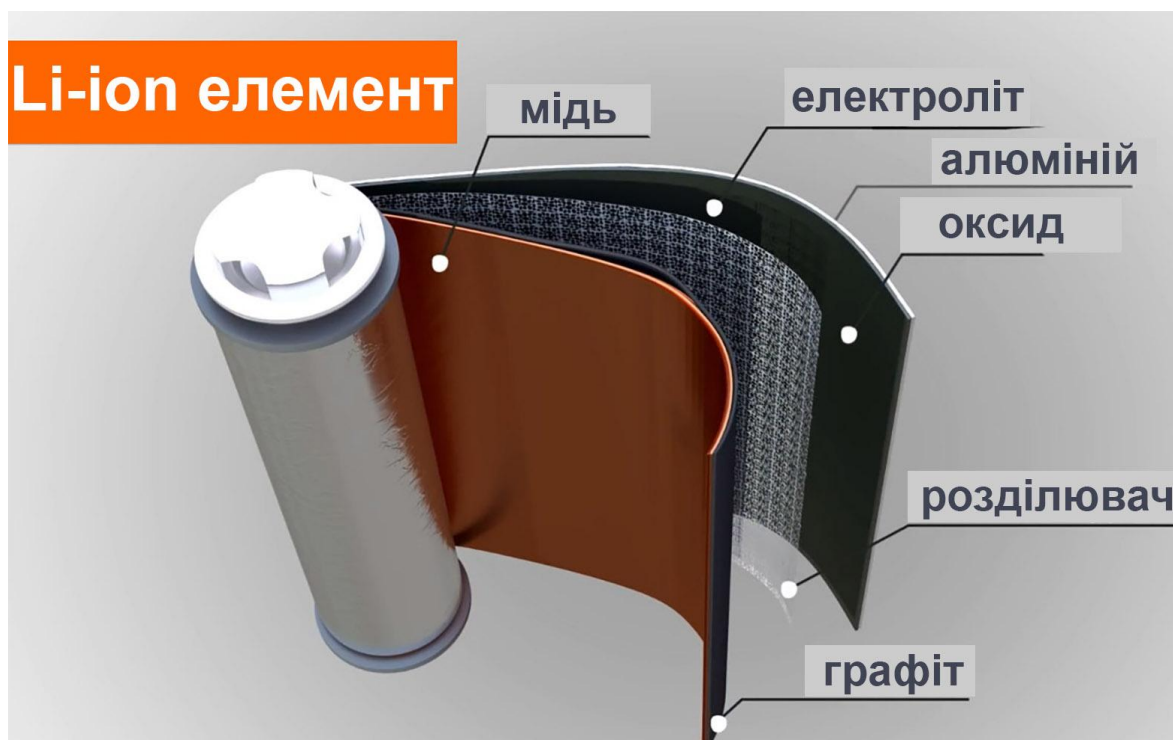


Рисунок 2.2 – Внутрішня будова Li-ion елемента

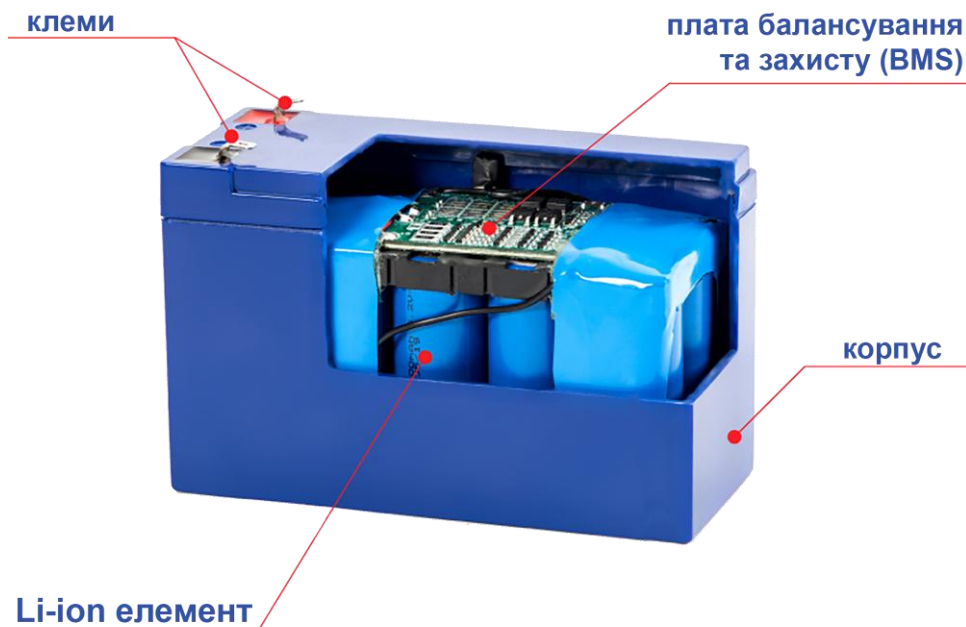


Рисунок 2.2.1 – Внутрішня будова Li-ion акумуляторної батареї складеної з Li-ion елементів

2.3 Типи та різновиди Li-ion АКБ

Літєві батареї мають багато різновидів, які відрізняються матеріалом катода. У деяких модифікаціях в аноді може повністю або частково замінюватись графіт на інші матеріали.

Li-ion АКБ бувають:

– **Літій-кобальтові (LiCo)**

Встановлюються на високотехнологічні гаджети, прилади і пристрої.

Мають додатковий захист від перезаряду.

– **Літій-марганцеві (LiMn)**

Відрізняються низким опором, швидкою зарядкою і гнучною конструкцією.

Використовується для потужних електроінструментів і гібридного джерела енергії та транспорту.

– **Літій-полімерні (Li-Pol, Li-polymer, Li-Po)**

Літій-полімерні батареї відрізняються конструкцією та потужнішими зарядним струмом. Замість рідкого електроліту в них застосовується гелеподібний або твердий полімер із вмістом літію. Недолік моделей – електричні параметри помітно погіршуються за умов низької температури.

Акумулятори Li-polymer випускаються у двох варіантах – стандартні та швидкорозрядні. Вони відрізняються максимальним струмом розряду. Для стандартних моделей показник становить трохи більше 3С, у швидкорозрядних може досягати 10С.

Використовуються в побутовій, виробничій, транспортній та медичній сферах.

– Літій-залізо-фосфатні (LiFePO₄)

Батареї LiFePO₄ оснащені катодом з літій-ферофосфату та анодом з вуглецю.

Особливості - стійкі до критичних температур, безпечні в експлуатації: не спалахують і не вибухають від перенапруги. Стійкі до перезарядки та перепадів в електромережі.

Також ці батареї підтримують прискорену зарядку великим струмом за допомогою спеціальних зарядних пристроїв, але їх можна заряджати універсальними зарядним пристроєм, призначеними для Li-ion АКБ. Акумулятори можуть зберігатися при заряді 40–60%. Підзарядити до 80% можна приблизно за півтори години.

Літій-залізо-фосфатні батареї можна бути у формі паралелепіпеда, циліндра та інших форм-факторів корпусу. АКБ на основі LiFePO₄-комірок використовують для вітрогенераторів, сонячних панелей, водного та електричного транспорту, складської техніки, ігрового обладнання та багато іншого. Вони не бояться довгих періодів простою. До кінця експлуатаційного терміну втрачають до 20% ємності.

– Літій-титанатні (LTO)

Анод батареї виконаний з титанату літію та має нанокристалічну структуру, в наслідок цього забезпечується висока площа позитивно зарядженого електрода і його стабільна робота. Батареї мають мінімальний внутрішній опір, швидко заряджаються – протягом 5-10 хвилин. Температура експлуатації може бути в досить широкому діапазоні. За рахунок відсутності вуглецю у складі виключається перегрів.

Недоліком таких батарей є невелика щільність енергії, пов'язана з низькою напругою.

Такі батареї використовуються як основне джерело живлення в електротранспорті, а також на транспорті як заміна стандартного АКБ для запуску двигуна, освітлення, та інших споживачів електроенергії. Також вони встановлюються у побутовій техніці, медичному та телекомунікаційному обладнанні. За їх допомоги організують внутрішнє та зовнішнє освітлення на базі сонячних панелей, також аварійне освітлення.

Для порівняння різних характеристик Li-ion батарей типів батарей, були внесені їх характеристики в таблицю 2.3

2.3 Таблиця порівняння технічних характеристик типів Li-іон батарей

	LiCo	LiMn	Li-Pol	LiFePO ₄	LTO
Напруга елемента, В	3,6	3,7	3,7	3,2	2,4
Циклічний ресурс	700–1000	1000–2000	800–900	1000–2000	5000–8000
Допустима глибина розряду, %	100	100	100	100	100
Діапазон робочих температур, °С	-10..+60	-10...+45	-20...+40	-10...+60	-10...+45
Термін служби, років	5–7	10	до 8	20–25	18–25
Граничний струм заряду	0,7-1С	0,7-1С	1С	25–30С	10С/30С
Швидкість заряду, год	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3
Саморозряд на місяць, %	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2

2.4 Ємність акумуляторної батареї та її залежність від струму розряду

Ємність акумуляторної батареї – її ключова характеристика. Вона впливає на вартість пристрою, сферу застосування (від побутових потреб до медичних), термін служби.

Ця характеристика відображає тривалість тимчасового проміжку, на який батарея буде повноцінно жити відповідній пристрій і забезпечувати його автономну роботу. Ємність АКБ – це максимальна кількість електричної енергії, яку батарея здатна накопичувати за 1 повний цикл заряду.

Одиниця виміру ємності АКБ - ампер-години (А*год)

При підключенні до акумулятора навантаження без перетворювача, величина струму не змінюється. При цьому час роботи АКБ виглядатиме як співвідношення ємності до струму. У вигляді формули ця залежність виглядає так:

$$Q = T \cdot I \quad (2.1)$$

де Q - ємність акумулятора (А * год або мА * год);

I – струм розряду акумулятора (А);

T – час розряду батареї (год).

Залежність ємності АКБ від енергії

Здатність до накопичення енергії батареєю пов'язана з напругою силою струму яку видає АКБ: чим більша, тим більше енергії накопичить АКБ. Таким чином, електрична енергія визначається за данною формулою:

$$W = T \cdot I \cdot U \quad (2.2)$$

де W - Енергія накопичена батареєю (Дж);

U – напруга акумулятора (В);

I – постійний струм (А);

T – час розряду (год).

Енергетична ємність

Під цим поняттям мається на увазі енергія, що віддає повністю заряджений акумулятор при розряді до мінімальної напруги. Для розрахунку енергетичної ємності використовують формулу:

$$Q = \frac{W}{4} \quad (2.3)$$

де Q - ємність акумулятора (А * год);

W – енергетична ємність акумулятора (Вт/елемент).

Резервна ємність

Цей термін використовується для розрахунку ємності автомобільних акумуляторів. Він визначає здатність АКБ жити електроустаткування автомобіля, коли вбудований генератор не функціонує. Резервна ємність розраховується так:

$$Q = \frac{T}{2} \quad (2.4)$$

де Q - ємність акумулятора (А * год);

T – резервна ємність акумулятора (хв).

Розрахунок ємності акумуляторної батареї

Розрахунок обсягу батареї необхідний для визначення кількості енергії, потрібної за для тривалої автономної роботи пристроїв (для електроніки або портативного пристрою). Розрахунок ємності допомагає визначити потрібну ємність акумулятора в залежності від його потужності та споживаної енергії, а також для точного вибору акумуляторної батареї.

Для визначення ємність акумуляторної батареї, застосовують стандартну формулу:

$$Q = \frac{P \cdot t}{U \cdot k} \quad (2.4)$$

де Q - ємність АКБ, що розраховується ($A \cdot \text{год}$ або $mA \cdot \text{год}$);

P – навантажувальна потужність (Вт);

t - часовий проміжок резервування (год);

k - коефіцієнт, що відображає якась частина ємності АКБ використовується або кількість в відсотках використання енергії батареї до її певного значення розряду.

Коефіцієнт k компенсує ситуацію неповного заряду батареї. Повний розряд після кількох повних циклів роботи суттєво збільшує працездатність пристрою.

2.5 Висновки до розділу

Для забезпечення довговічності та витривалості акумуляторної батареї був обраний тип батареї який одночасно закриває декілька потреб.

Даний тип акумулятора має переваги в декількох напрямленнях: має збільшену ємність відносно від більшості аналогів акумуляторів з подібними характеристиками маси та габаритів що для транспортного засобу має важливу роль в процесі компактного розміщення та збільшеної дальності ходу. Наступною перевагою вважається ресурс та витривалість в складних умовах використання де аналогічні акумулятори будуть мати менші показники ємності та потужності яку може видати акумуляторна комірка. Третьою перевагою можна назвати кращий ресурс акумулятора Li-ion за однакових умов експлуатації де даний тип акумулятора може мати перевагу в тривалості експлуатації.

3 ВИБІР ТЯГОВОГО ПРИВОДУ, ЗАПРОПОНОВАНА СТРУКТУРА ТЯГОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Для конверсії мототранспорту на електротягу, буде використаний для обладнання BLDC мотор який відповідає по потужності та крутному моменту до фабричного загальноживанного та розповсюдженого 4-тактного двигуна внутрішнього згорання об'ємом 250 – 300 кубічних сантиметрів.

3.1 Вибір двигуна для конверсії мотоцикла

При виборі тягового двигуна був зроблений акцент на його надійності, ефективності відносно його потужності, доступності на ринку країни, невеликим габаритам для установки в раму транспортного засобу.

Двигун внутрішнього згорання який був взятий для порівняння та підбору електродвигуна являє собою двигун китайського виробництва LONCIN 166FMM який також вважається спрощеною та більш надійною копією двигуна японського мотоцикла Honda CB250 Nighthawk.

Характеристики двигуна LONCIN 166FMM:

- Об'єм двигуна: 250 см³;
- Число циліндрів: 1;
- Число тактів: 4;
- Максимальна потужність / при обертах за хвилину: 11 KWt / 9000 об/хв;
- Максимальний момент / при обертах за хвилину: 17 Nm / 7000 об/хв;
- Охолодження: Повітряне/Рідинно-масляне;
- Тип системи впрыску палива: карбюратор NIBVI-PE28;
- Тип палива: бензин А-95-Євро5-Е5;
- Тип запалювання: CDI;
- Діаметр і хід поршня: 66.8mm x 64mm;
- Ступінь стиснення: 6.5 до 1;
- Маса: 31 кг;
- Наявність балансувального валу.



Рисунок 3.1 – Двигун внутрішнього згорання LONCIN 166FMM

Відповідно до характеристик двигуна внутрішнього згорання, вибір пав на BLDC мотор НРМ3000В з характеристиками які відповідають данним потребам для конверсії мотоцикла на електротягу.

Характеристики BLDC мотора НРМ3000В:

- Напруга для роботи мотора: 48-96V,
- Номінальна потужність: 2-3.8 KWt,
- Пікова потужність яку може видати мотор: 7 KWt,
- Номінальний крутний момент: 12.5 Н/м,
- Піковий крутний момент: 25 Н/м,
- Частота обертів: 4000-4500 об/хв,
- ККД: 91% ,
- Діаметер двигуна: 182 мм,
- Довжина двигуна (без вихідного валом): 125 мм,
- Довжина двигуна включно з вихідним валом: 158.6 мм,
- Матеріал корпусу: Алюміній,

- Маса мотора: 8 кг,
- Тип охолодження двигуна: повітряне,
- Наявність захисту від вологи.

При порівнянні двигунів було виявлено декілька плюсів в характеристиках : електродвигун хоч і має менші оберти проте він являється більш тяговитим двигуном для використання, що збільшує його можливості використання та його сфери використання не тільки в мототранспорті , а також в використанні в мотовантажному транспорті для перевезення невеликої кількості вантажу або пасажирів маючи більший крутний момент , меншу масу та компактні габарити. Даний електродвигун не залежать від положення в просторі та дає можливість встановлювати в різних положеннях , коли двигуни внутрішнього згорання через наявність мастила в конструкції та принцип його роботи – не дає можливість установки двигуна в різних положеннях.

Приємним доповненням данного BLDC двигуна являється можливість установки водяного охолодження замість нинішнього повітряного охолодження.

В сумі з конверсією данного тягового обладнання з'являється можливість використання заводського рідинного охолодження , яке використовувалось в двигуні внутрішнього згорання , для охолодження електродвигуна.

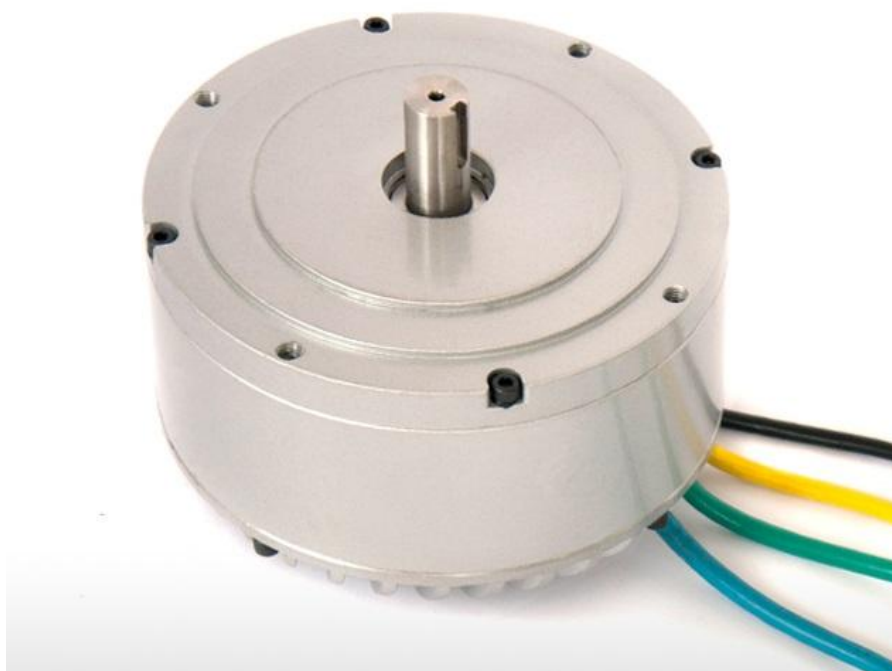


Рисунок 3.2 – Зоображення BLDC мотора HPM3000B

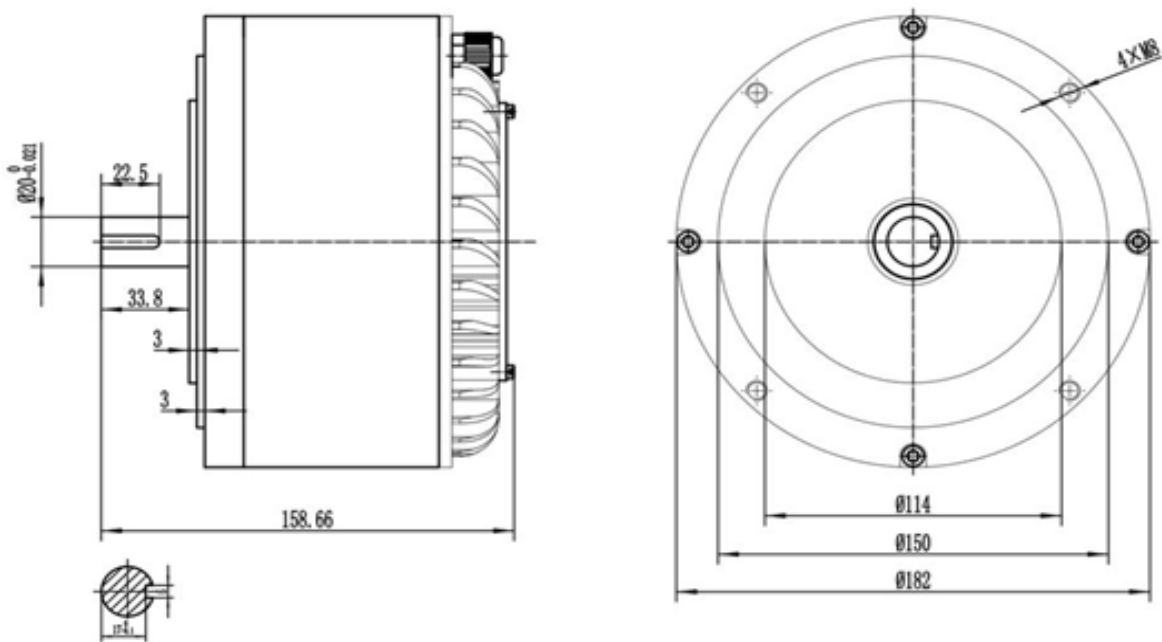


Рисунок 3.3 – Розміри BLDC мотора НРМ3000В

3.2 Вибір контролера керування BLDC двигуном

Для використання обраного раніше двигуна, потрібно обрати BLDC контролер для керування режимів роботи самим двигуном та керуванням його тягово-швидкісних характеристик в декількох режимах роботи.

Під данну задачу був обраний BLDC програмований контролер з режимом рекуперації Kelly KBL48151X.

Рекуперація електроенергії (також відома як рекуперативне зарядження або регенерація) - це процес, за якого електрична енергія, що виділяється під час гальмування або зниження швидкості, повертається назад у джерело живлення або акумулятор. В електричних або гібридних транспортних засобах, наприклад, рекуперація електрики виникає під час гальмування або зниження швидкості, коли кінетична енергія автомобіля перетворюється на електричну енергію і зберігається в акумуляторі. Це дає змогу підвищити ефективність використання енергії та збільшити дальність пересування електротранспорта на одній зарядці.

Основні Характеристики Kelly KBL48151X :

- Діапазон напруги живлення контролера: 18V-90V.
- Частота роботи: 16,6 кГц.
- Струм у режимі очікування: <0,5 мА.
- Струм живлення датчика 5 В: 40 мА.
- Конфігурований діапазон напруги акумулятора: 18V-60V.
- Аналогове гальмо і вхід керування дросельної заслінки: 0-5 вольт, створення 0-5V сигналу з 3-х дротовим контактом.
- Сигналізація зворотного ходу.
- Діапазон температур за повної потужності: від 0 до 50 °С.
- Діапазон температур: від -30 до 90 °С, вимкнення 100 °С.
- Підвищена сила струму протягом 10 секунд: 200А.
- Межа сили струму двигуна протягом 1 хвилини: 150А.
- Межа сили струму двигуна в безперервном режимі: 80А.
- Можливість налаштування максимального струму батареї.

Особливості контролера KBL48151X:

-Синхронне випрямлення, наднизьке падіння і швидка ШІМ для досягнення дуже високої ефективності.

-Електронний реверс.

-Захист від перевантаження за струмом.

-Захист від перенапруги.

-Підтримка декількох режимів: збільшення швидкості обертання, збільшення крутного моменту, збалансованого ефективного режиму.

- Можливість налаштування межі струму двигуна і струму акумулятора.

-Коди несправності, що дають можливість власноручного ремонту та виправлення несправностей.

-Захист акумулятора: обмеження струму, попередження та вимкнення за високої та низької напруги акумулятора.

- Міцний алюмінієвий корпус для максимального відведення тепла за суворих умов експлуатації.

- Міцні клеми і роз'єми призначені для слабкого сигналу.

- Тепловий захист: вимкнення струму, попередження та вимкнення за високої температури.

- Можливість налаштування датчика положення Холла до 60 або 120 градусів.

- Підтримка двигунів з будь-якою кількістю полюсів.

- Підтримка трьох режимів рекуперативного гальмування: регенерація вимикача гальма, регенерація розблокування дросельної заслінки, змінна регенерація аналогового сигналу 0

- Конфігурований захист високої педалі: контролер не працюватиме, якщо під час увімкнення живлення буде виявлено максимальне положення відкритої ручки.

- Множення струму: брати менше струму від батареї, виводити більше струму на двигун.

- Простота встановлення: підтримка трипровідного потенціометра.

- Можливість видалення кода несправності світлодіодного драйвера.

- Вихідний вимірник струму.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд контролера Kelly KBL48151X

3.3 Вибір джерела живлення для електротягового обладнання

Для руху транспортного засобу на двигуні внутрішнього згорання використовуються паливні системи подачі пального в камеру згорання, а саме пальне зберігається в окремій ємності та подається під силою тяжіння або через спеціалізовані паливні насоси. В електротранспорті який потребує незалежного живлення та відсутності мережі живлення використовують акумуляторні батареї.

На сьогоднішній день акумуляторні батареї або акумулятори широко використовуються як джерело живлення або сховище електроенергії яку він може віддавати в будь-який момент, також може отримувати її та зберігати до відповідного моменту використання, наприклад для живлення навсного електрообладнання двигуна внутрішнього згорання описаного раніше, або для живлення електротягового обладнання замість двигуна внутрішнього згорання.

На сьогоднішній день існують безліч варіацій акумуляторів для живлення, які відрізняються робочою напругою, ємністю масою, формою та призначенням.

Для вище обраної конфігурації BLDC електродвигуна HPM3000B та його контролера Kelly KBL48151X була обрана акумуляторна батарея LiFePO4 Must LP15-1220.

Даний акумулятор має такі характеристики :

- Модель: LP15-1220 ;
- Бренд: Must Power ;
- Тип АКБ: Літійевий ;
- Технологія: LiFePO4 ;
- Виробник комірок: EVE ;
- Ресурс: понад 6000 циклів (при використанні 90% енергоємності батареї) ;
- Номінальна напруга: 12 В ;
- Номінальна ємність: 20 А/год ;
- Максимальний струм розряду: 20 А ;
- Напруга глибокого розряду: 10.8 В ;
- Напруга для зарядки акумулятора: 14.6 В ;
- Максимальна сила струму зарядки акумулятора: 20 А ;

- Підключення послідовно: до 4-х АКБ (до 51,2 В) ;
- Підключення паралельно: не обмежено ;
- Термінал підключення: M5 ;
- Температура експлуатації:
 - Розрядка: від -20 до +60 °С ;
 - Заряджання: від 0 до +50°С ;
 - Рекомендована: від +5 до +45°С ;
- Розміри: 181x77x170 мм ;
- Маса: 2.625 кг.

Особливостями цього акумулятора являється герметична конструкція яка дозволяю установлювати його в різних положеннях, що при використанні на мототранспорті являється великою перевагою для використання в більшості класів мототранспорту. Деякі класи мото можуть рухатися в різних положеннях та під гострим кутом відносно його положення. Його герметична закрита конструкція також дає вологозахист від навколишнього середовища що поліпшує установку в транспорт та спрощує інтеграцію данного акумулятора в конструкцію транспортного засобу. Наступною перевагою являється наявність вбудованої системи керування батареєю (BMS - Battery Management System), яка забезпечує рівномірну зарядку-розрядку акумулятора , захист від глибокого розряду і перенапруги комірок , захист від перегріву. У батареї використовуються нові комірки від компанії EVE.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд акумуляторної батареї Must LP15-1220.

Даний акумулятор має робочу напругу 12 В що являється в 4 рази менше ніж робоча напруга тягового обладнання.

Рішення даної проблеми являється підключення акумуляторів, методом послідовного з'єднання для збільшення робочої напруги, прийнятої для роботи двигуна.

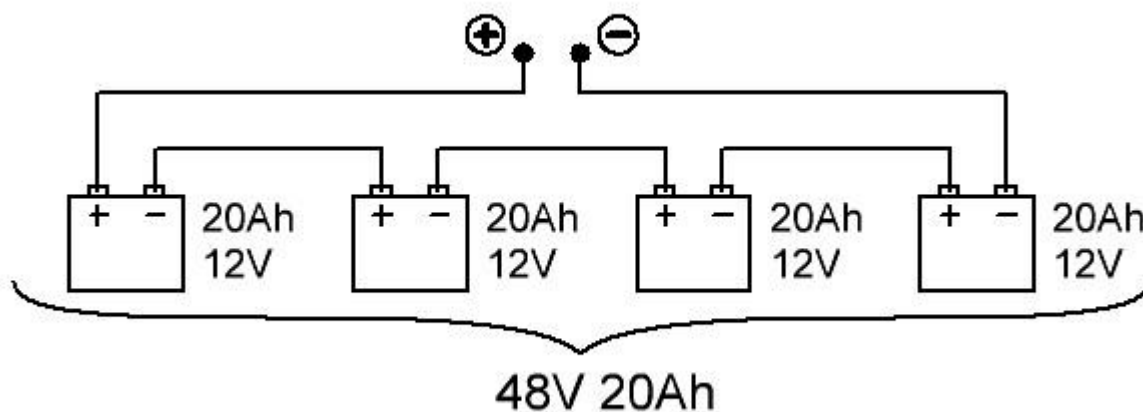


Рисунок 3.6 – спрощена схема збірки акумулятора живлення тягового двигуна.

Данна схема являється мінімальною системою автономного живлення для тягового двигуна для підтримки можливості пересування транспортно засобу та мінімальної роботи. Данна схема джерела живлення має важливий плюс – уніфікація кожної комірки до розповсюдженої напруги 12 В з розповсюдженими акумуляторами для живлення транспорту де в випадку виходу з ладу 1-2 акумуляторів існує можливість використати тимчасове рішення. Таке рішення дозволяє дібратися в дорозі до найближчого місця ремонту та усунути неполадки.

На ринку існують і готові рішення під напругу 48 В постійного струму проте вони мають ціну більшу на 40-90% та залежить від: виробник, ємність, призначення, габарити та маса. Також більшість готових акумуляторів не мають можливості замінити пошкодженні елементи в зв'язку з самою готовою закритою конструкцією акумулятора.

Для збільшення ємності акумулятора використовують метод паралельного з'єднання щоб збільшити ємність живлення а також збільшити силу струму яку видає збірка з декількох паралельно підключених акумуляторів. Акумулятор який бів обраний раніше має ємність 20 А/год та може видавати пікову силу струму в 20 А проте для живлення системи обраного двигуна цього буде замало і було прийняте рішення для збільшення сили струму яку може видати акумуляторна батарея.

В документації до данного двигуна указана мінімальна потужність для роботи це 1600 Вт.

$$P = U \cdot I \quad (3.1)$$

P – потужність двигуна;

I – сила струму для його живлення;

U – напруга для його роботи.

За такою формулою можна розрахувати мінімальну силу струму для живлення двигуна щоб він зберігав свій номінальний момент та зміг почати рух транспорту.

$$I = \frac{P}{U} \quad (3.2)$$

За розрахунками ми отримаємо мінімальний струм для живлення та руху системи.

$$I = 1600 / 48 = 33.33 \text{ A}$$

$$I = 33.33 \text{ A}$$

Після проведенних розрахунків отримуємо мінімальний струм який може видавати акумулятор для руху транспортного засобу що становить $I_{\text{мін}} = 33.333 \text{ A}$.

За отриманими даними попередня структура послідовного підключення та живлення двигуна не підходить по причині слабкої сили струму яку може видати зібрана збірка з акумуляторів так як її максимальна сила струму яку може видати становить 20 А. За таких умов потрібно збільшити ємність акумуляторної схеми в 2 рази і найбільш підходящим методом являється метод паралельного з'єднання акумуляторів

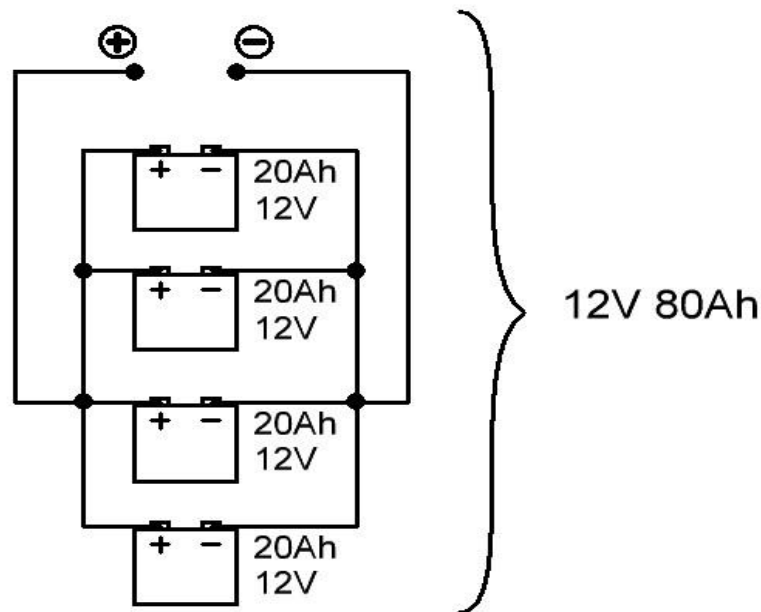


Рисунок 3.7 – Спрощена схема з'єднання 4 попередніх акумуляторів з рисунка 3.6 паралельним підключенням.

Якщо використати 4 таких комірки живлення з характеристиками 12V 40Ah та підключити їх послідовно то можна отримати мінімальне джерело живлення для руху транспортного засобу.

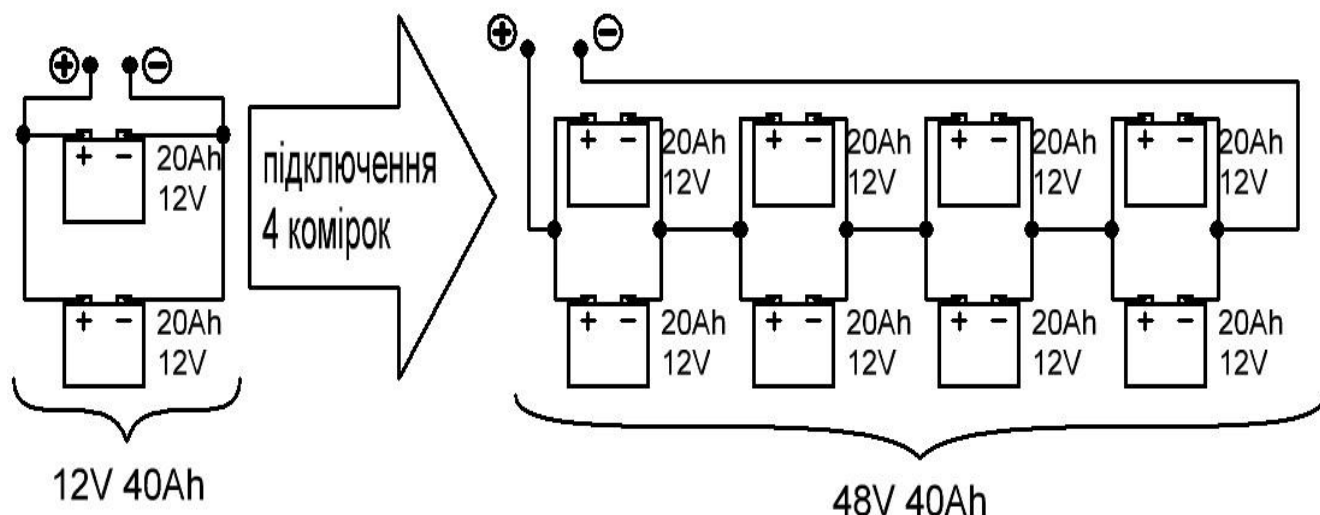


Рисунок 3.8 – Схема мінімального живлення двигуна та балансування комірок акумуляторної батареї.

При підборі акумуляторної комірки також береться увага на максимальному піковому струмі. BLDC-двигун має номінальний робочий режим 2-3.5 кВт потужності. Режим роботи двигуна буде направлений в максимальну ефективність в його номінальному режимі щоб зберегти його ресурс та зменшити вірогідність поломок в дорозі. Для розрахунку максимальної сили струму системи акумуляторів, була взята максимальна потужність яку може видати двигун в номінальному режимі роботи : 3500 Вт.

За формулою 3.1 про розрахунок потужності від сили струму та напруги, була розрахована максимальна сила струму в номінальному режимі роботи.

$$I = 3500 / 48 = 72.92 \text{ A}$$

$$I = 72.92 \text{ A}$$

За таких умов потрібно використати для створення повністю всієї акумуляторної батареї, ланку з 4 акумуляторів загальною ємністю в 80 А/год. Або загальною силою струму в 80 А яка зображена на рисунку 3.7. Проте таких ланок з 4-х паралельно-підключених акумуляторів потрібно використати 4 за для збільшення загальної напруги до 48 В.

В даній конфігурації балансування акумуляторів для живлення, отримаємо 4 комірки паралельно з'єднаних акумуляторів, кожна з яких буде мати по 4 акумулятора де в загальній кількості буде 16 шт.

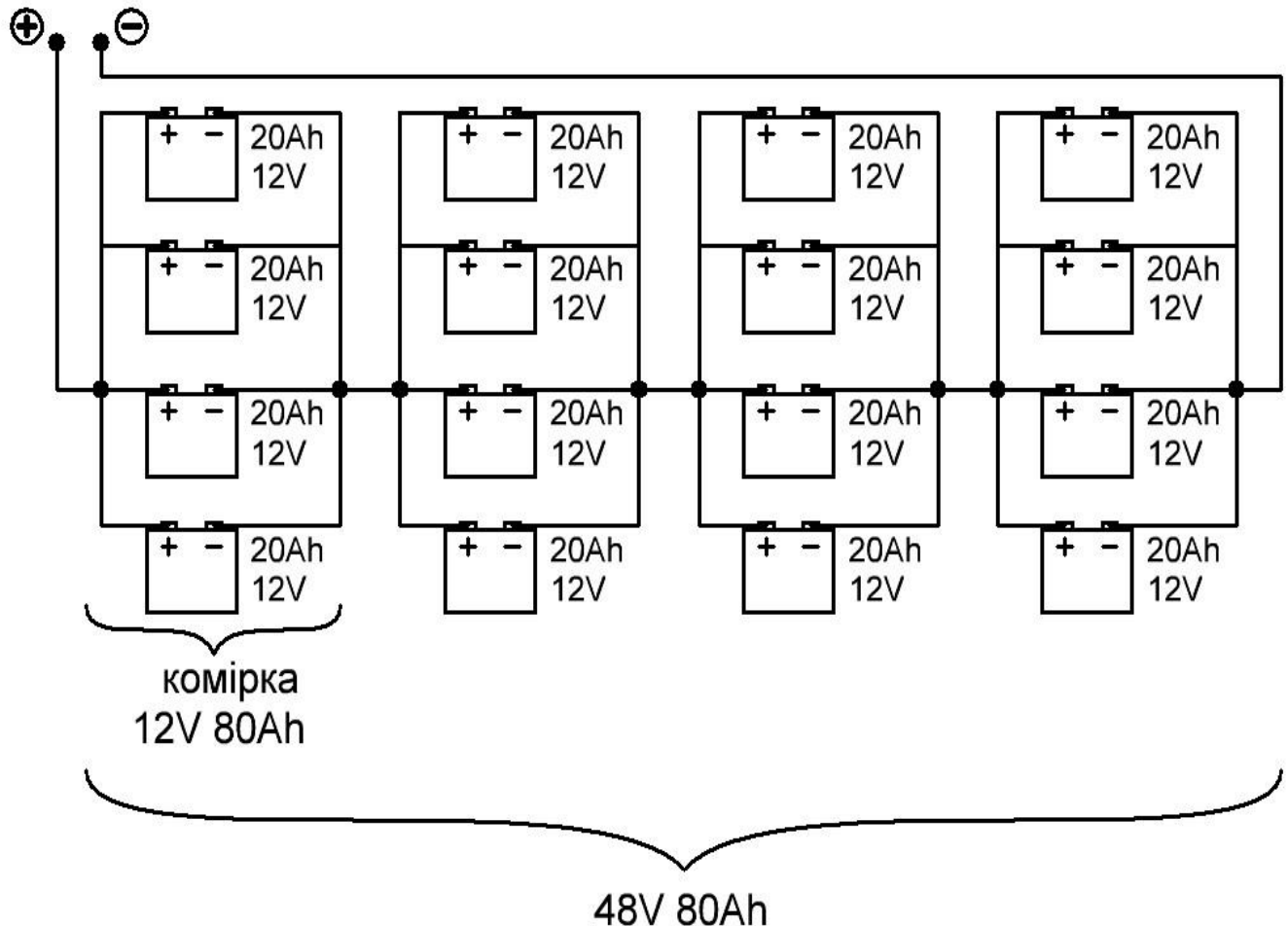


Рисунок 3.9 – Схема з'єднання акумуляторних батарей в одну загальну батарею живлення під потреби BLDC-двигуна створена на основі акумулятора Must LP15-1220.

Формула для розрахунку ємності акумулятора в Вт/год.

$$W_h = U \cdot Q \quad (3.3)$$

$$W_h = 48 \cdot 80 = 3840 \text{ Вт/год.}$$

$$W_h = 3840 \text{ Вт/год.}$$

Даний акумулятор дає можливість працювати більше 1 години на максимальній потужності в номінальному режимі роботи двигуна.

3.4 Вибір захисних мір безпеки експлуатації акумуляторної батареї

Після вибору тягової установи, автономного джерела живлення та контролера для керування BLDC-двигуном, потрібно прийняти міри захисту для можливості безпечної та правильної експлуатації транспортного засобу.

Одним з рішень являється плата BMS (Battery Management System) для керування зарядом розрядом батареї яка зібрана з окремих елементів.

BMS - це абревіатура від Battery Management System. Це система інтегрованої схеми, яка використовується для моніторингу та контролю стану акумуляторної системи для забезпечення нормальної роботи та безпечного використання батареї. Застосування BMS охоплює різні сфери, такі як електромобілі, системи накопичення енергії, дрони та електроінструменти, і може покращити термін служби, ефективність безпеки та довговічність акумуляторів.

Основні функції BMS наступні:

- BMS може вимірювати та оцінювати різні параметри та стан батареї в режимі реального часу, такі як: напруга, струм, температура, заряд, стан здоров'я тощо.
- Управління за допомогою BMS може здійснювати збалансоване керування, управління температурою, керування зарядом і розрядом тощо батареї для підтримки узгодженості та оптимального робочого стану батареї.
- Захист: BMS може захистити акумулятор від перезаряду, надмірного розряду, перегрівання, перевантаження та інших ненормальних умов відповідно до певних стратегій контролю захисту та забезпечити своєчасну тривогу.

Даним рішенням можна вирішити декілька можливих проблем наприклад :

- Балансування заряду що дає можливість перенаправити надлишкову енергію з одної комірки в іншу яка потребує дозарядки;
- Безпечна експлуатація та використання батареї зі збалансованою зарядкою і розрядом батареї;
- Безпека від короткого замикання та завчасне попередження про пошкоджену комірку збірної акумуляторної батареї.

Класифікація BMS:

- **Розподілена BMS:**

Це архітектура, що включає ведений блок керування (SCU), блок керування високою напругою (HMU) і головний блок керування (MCU). Вони відстежують і контролюють акумуляторні елементи, кластери та масиви.

Переваги включають зменшену довжину/кількість джгутів проводів, підвищену надійність, масштабованість, що ідеально підходить для акумуляторів високої ємності/напруги.

Наразі не існує єдиного стандарту, що призводить до різноманітних рішень/термінології різними виробниками.

Розподілена BMS має багатообіцяючі застосування в електромобілях, системах накопичення енергії, покращенні продуктивності батареї, безпеки, терміну служби, зниження експлуатаційних витрат, забезпечення інтелектуального керування.

- **Централізована BMS:**

Централізована BMS - це апаратний пристрій, який збирає та контролює інформацію всіх батарейних елементів. Він підходить для сценаріїв, коли кількість елементів батареї невелика, загальна напруга системи батареї низька, а система батареї невелика за розміром.

Перевагами централізованої BMS є проста структура, низька вартість і висока надійність. Він може реалізувати базовий моніторинг і захист елементів батареї, наприклад збір напруги, температури, струму, ізоляції та інших параметрів і ненормальної сигналізації.

Централізована BMS наразі в основному використовується в областях з низькою ємністю, низькою загальною напругою та невеликим розміром акумуляторної системи, наприклад, електроінструменти, роботи, розумні будинки, електронавантажувачі, електричні низькошвидкісні транспортні засоби, м'які гібридні транспортні засоби тощо.

Одним з варіантів для використання в попередній обраній конфігурації акумуляторів та потужності була обрана плата BMS-контроллер LogicPower LiFePO4 16S 80-80 яка задовільняє потреби вище обраної конфігурації системи.

Цей BMS-контроллер має такі характеристики :

- Тип акумулятора: LiFePO4 ;
- Тип контроллера: симетричний ;
- Номінальна напруга: 48 В ;
- Верхній поріг напруги керування: 60 В ;
- Нижній поріг напруги керування: 40 В ;
- Максимальна сила струму розряду: 80 А ;
- Максимальна сила струму зарядки: 80 А ;
- Кількість каналів для балансування: 16 ;
- Сила струму для балансування: 35 мА ;
- Довжина: 150 мм ;
- Ширина: 66 мм ;
- Висота: 19 мм ;
- Маса: 0.385 кг (385 г).

Даний BMS-контроллер має герметичну структуру плати що дозволяє його використання на мототранспорті , а також його характеристики дозволяють мати запас по потужності де можна його використати під іншу конфігурацію комірок акумуляторів в залежності від їх напруги , сили струму та методу підключення, балансування.

Також даний виробник BMS-контроллерів , та сам виробник LogicPower являється надійним світовим виробником комплектуючих для збірки електронного обладнання та його керування.



Рисунок 3.10 – BMS-контроллер LogicPower LiFePO4 16S 80-80.

Такий BMS-контроллер був інтегрований в схему з'єднання акумулятів для керування їх комірками та криванням зарядки та експлуатації. Такий контроллер використовує свої виходи для керування зарядкою між комірками які з'єднанні послідовно між собою.

Данна плата BMS підтримує контроль живлення до 16 послідовно підключених елементів, то при використанні контроллера в схемі підключення та балансування акумуляторних батарей , буде використано 4 з 16 виходів контактів позитивного струму. Зворотня полярність акумуляторних батарей має загальне підключення негативного контакту до вихода -B , який виконує функцію загального негативного контакту живлення та керування послідовних комірок батарей.

Керування та балансування заряду виконується через 4 із 16 кабелів підключення позитивного контакту. Контроллер збалансовує між послідовно послідовно підключені комірки та регулює загальний заряд між 4 ланками акумуляторної батареї.

Процес зарядки всієї акумуляторної батареї виконується через загальний позитивний контакт , та через негативний вихід на платі керування який підписаний як – (-P).

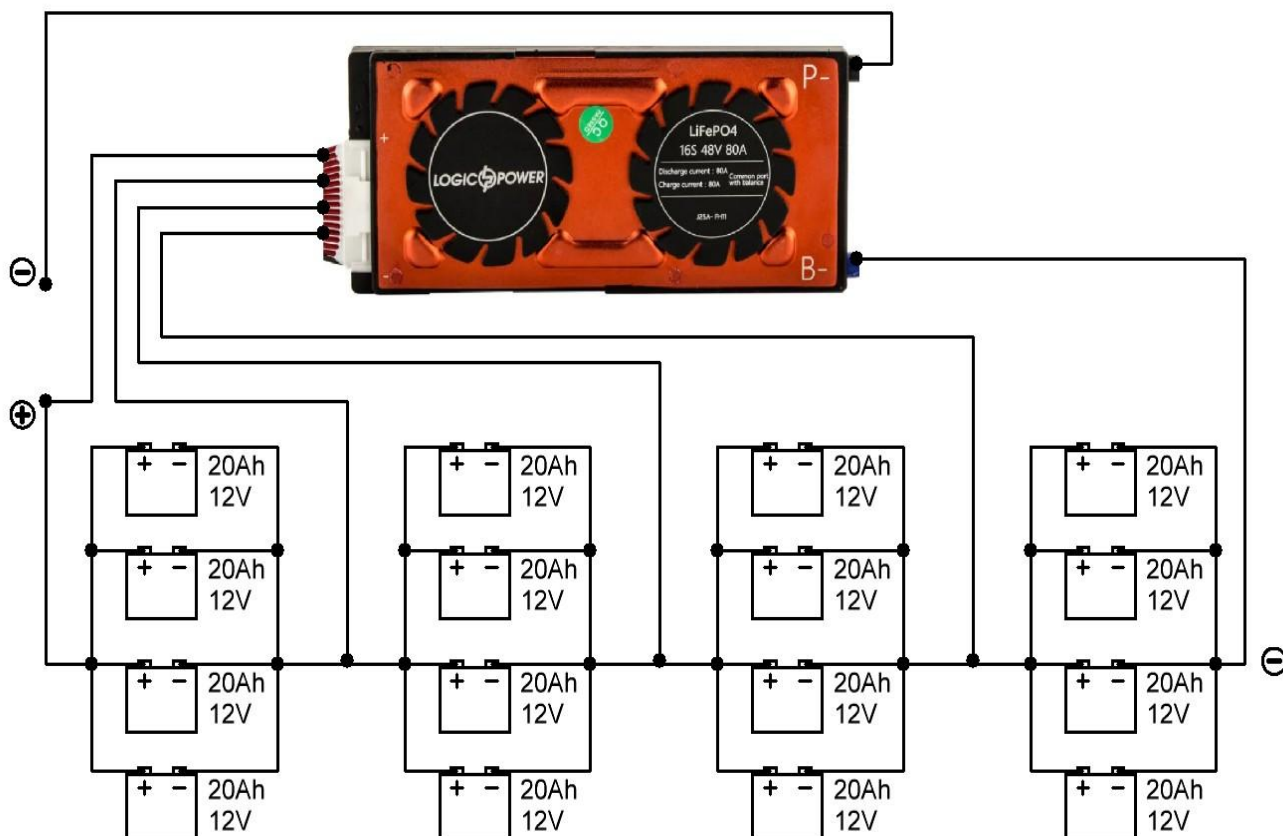


Рисунок 3.11 – BMS контроллер який інтегрований в схему підключення та балансування комірок акумуляторів з яких складається вся загальна батарея.

3.5 Висновки до розділу

Були обрані загальні комплектуючі комплекту для проведення конверсії на електротягу. Данні комплектуючі та запропонована структура, які відповідають характеристикам двигуна, що був взятий в як зразок розповсюдженого та популярного мотодвигуна з пункту 3.1 задовільняють потреби транспортного засобу. Особливу увагу можна звернути на конструкцію автономного живлення або акумуляторної батареї що живить загальну конструкцію. Її основними перевагами можна вважати доступність в збірці та покупці комплектуючих; уніфікація за характеристиками що дає можливість збірки бюджетної версії або покращення існуючої конструкції акумулятора що вказана на рисунку 3.11.

4 ТЯГОВО-ШВИДКІСНІ ТА ХОДОВІ ЗАЛЕЖНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ

4.1 Паспортні характеристики двигуна

Для підтвердження вибору потрібно провести розрахунки тягово-швидкісних характеристик керування BLDC-двигуна , який приводить в рух транспортний засіб.

Таблиця 4.1 – Паспортні характеристики BLDC-двигуна

Сила струму (А)	Напруга (В)	Потужність (Вт)	Крут. момент (Н/м)	Оберти (об/хв)	ККД (%)
33.3	48	1600	8,0	2050	80,2
40	48	1920	9,6	2224	82,7
45	48	2160	10,3	2707	83,2
50	48	2400	11,4	3224	85,6
55	48	2640	12,1	3563	87,1
60	48	2880	12,6	3727	88,9
65	48	3120	13,3	3868	90,4
70	48	3360	14	4075	91,2
75	48	3600	14,5	4399	89,4
80	48	3840	15	4620	88,6

За даними характеристиками можна дізнатися залежність роботи двигуна в залежності від його частоти обертів за хвилину до його отриманого крутного моменту.

Маючи такі данні характеристики залежності крутного моменту від кількості його обертів можна скласти графік залежності крутного моменту від його кількості обертів за хвилину.

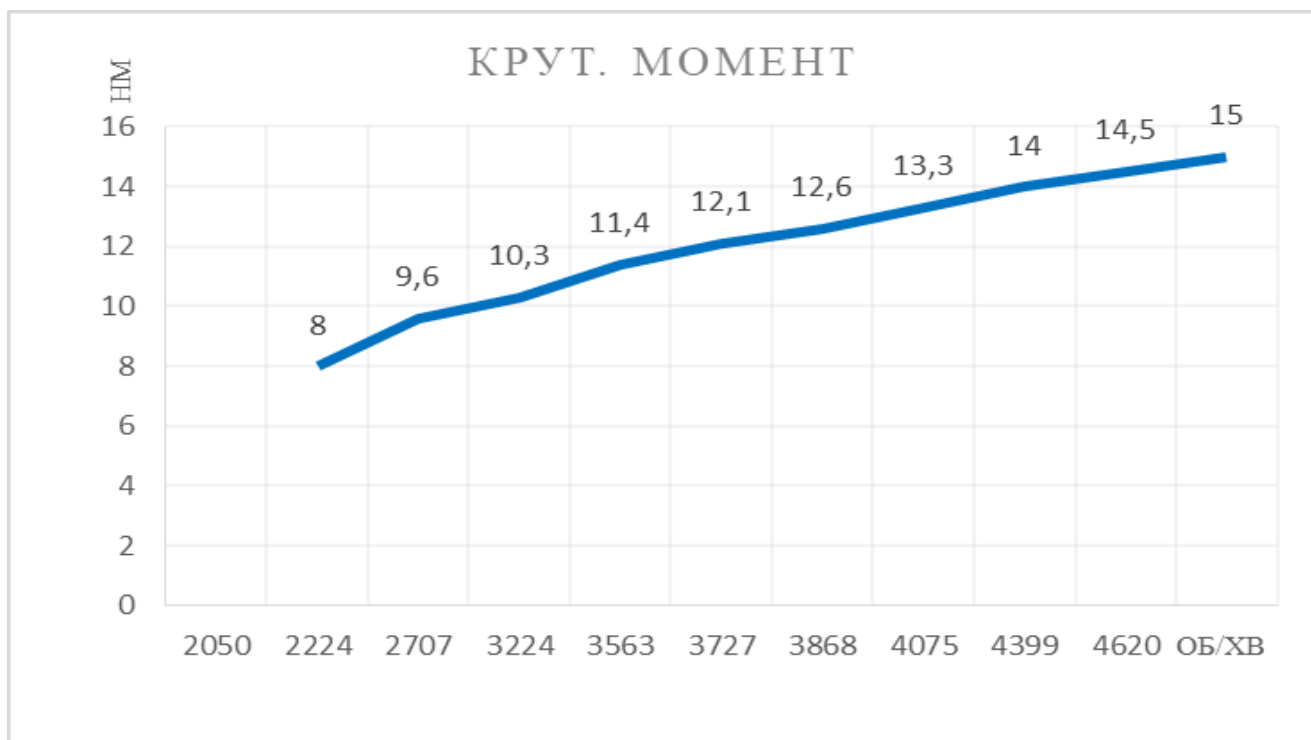


Рисунок 4.1 – Графік залежності крутного моменту від кількості обертів.

Проте даний графік візуалізує залежність крутного моменту від кількості обертів самого двигуна, але первісним значенням залежності являється потужність двигуна яку він видає. Сама же потужність двигуна має незмінну напругу – константу, та основну змінну в вигляді сили струму.

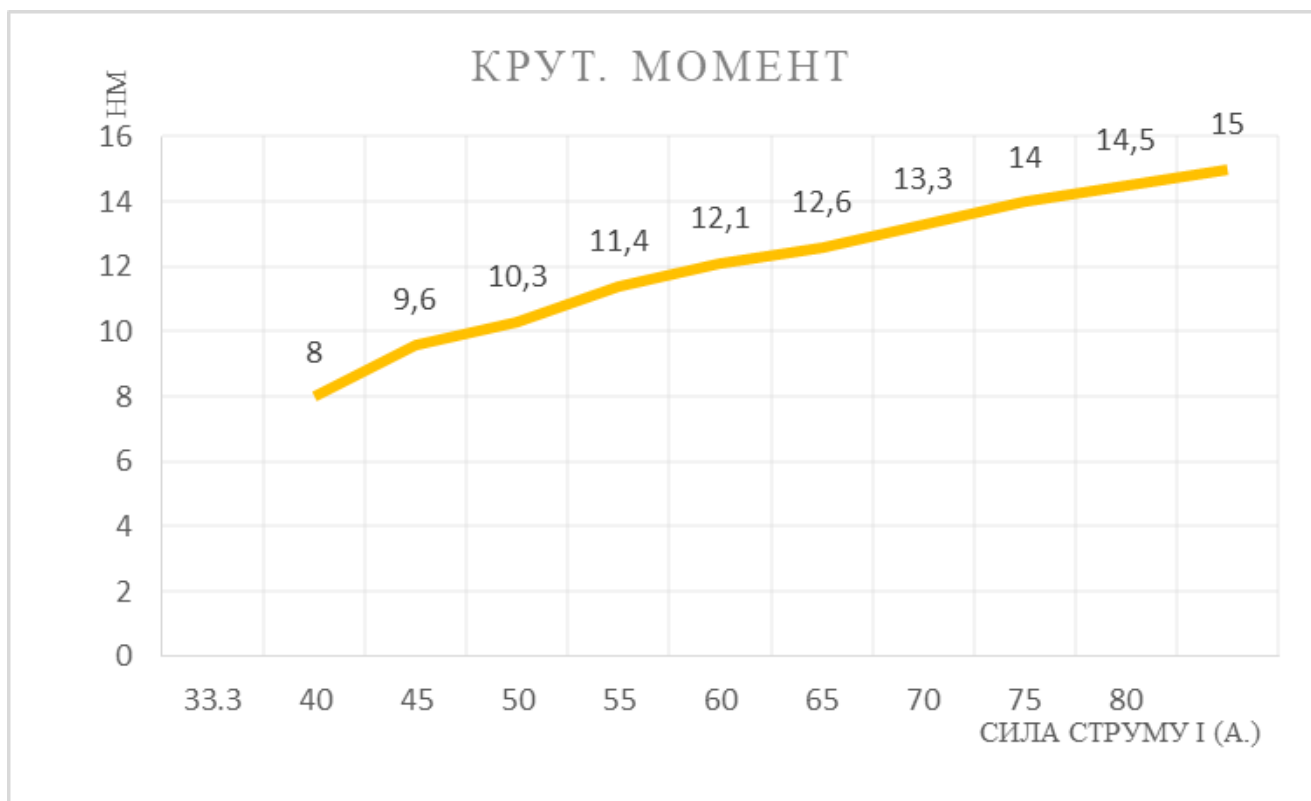


Рисунок 4.2 – Графік залежності крутного моменту від сили струму двигуна.

4.2 Швидкісні характеристики в конфігурації конверсії мототранспорту

Для розрахунку дальності ходу транспортного засобу, потрібно для початку розрахувати його швидкісні характеристики для розрахунку дальності ходу.

Так як тут проводиться розробка проекту конверсії на електротягу то більшість запчастин будуть використані від звичайного мотоцикла, а саме ходова частина та його привід. Найчастіше на такому транспортному засобі використовується ланцюговий привід від коробки передач або двигуна до самого колеса. Важливим фактором можна відзначити кількість зубців на ведучій та ведених зірках приводу, а також в такому типі транспорту важливу роль відіграє розмір коліс.

В данній конфігурації будуть використовуватися найпоширеніші запчастини які використовуються на тягових мотоциклах відповідного робочого об'єму який був указаний в пункті 3.1.

Данні :

- Кількість зубців ведучої зірки : 15 зубців ;
- Кількість зубців веденої зірки: 66 зубців ;
- Розмір приводного колеса відповідно до стандартів ЄС: діаметер 16 дюймів.

Розрахунок відношення кількості обертів на приводному валу ведучої зірки яке передається до веденої зірки.

$$k = \frac{Z2}{Z1} \quad (4.1)$$

Де $Z1$ кількість зубців ведучої зірки, а $Z2$ кількість зубців веденої зірки на колесі.

Далі потрібно розрахувати довжину кола в колеса включаючи тот факт що діаметер колеса за мірками стандарту рахують в дюймах.

$$C = \frac{\pi \cdot D}{25.4} \quad (4.2)$$

Де D – діаметер колеса за стандартами ЄС в дюймах для того щоб отримати результат **в метрах**.

За отриманими двома нехідними формулами можна розрахувати частоту обертання самого колеса з ланцюговим приводом

$$\text{RPM}_k = \frac{\text{RPM}}{k} \quad (4.3)$$

В данній формулі використана частота обертання що вказана в формулі 1.1. На основі таких формул можна скласти формулу розрахунку швидкості руху транспортного засобу з використанням ланцюгового приводу та обранного розміру колеса.

$$V = \frac{C \cdot \text{RPM} \cdot 60}{1000k} \quad (4.4)$$

За даними формулами проводяться відповідні розрахунки швидкості двигуна в його номінальному режимі, підставляючи існуючі данні.

$$k = 66/15 = 4.4 \quad k = 4.4$$

$$C = (\pi \cdot 18) / 25.4 = 1.979 \text{ м} \quad C = 1.979 \text{ м}$$

Данна кількість обертів двигуна в його номінальному режимі:

$$\text{RPM}_{\min} = 2050 \text{ об/хв}$$

$$\text{RPM}_{\max} = 4620 \text{ об/хв}$$

$$V_{\min} = (1.979 \cdot 2050 \cdot 60) / 1000 \cdot 4.4 = 55.3 \text{ км/год} \quad V_{\min} = 55.3 \text{ км/год}$$

$$V_{\max} = (1.979 \cdot 4620 \cdot 60) / 1000 \cdot 4.4 = 125.6 \text{ км/год} \quad V_{\max} = 125.6 \text{ км/год}$$

Оберти при яких двигун працює при найбільшій ефективності в 91% :

$$\text{RPM}_{\max \text{ККД}} = 4075 \text{ об/хв}$$

$$V_{\max} = (1.979 \cdot 4075 \cdot 60) / 1000 \cdot 4.4 = 110 \text{ км/год} \quad V_{\max} = 110 \text{ км/год}$$

За даними розрахунками можна дізнатися що данний електро двигун має швидкість в номінальному режимі при найбільшій ефективності на швидкості від 55 км/год до 110 км/год, а також має максимальну швидкість для виконання швидкісних маневрів до 125 км/год. Проте сам двигун обмежений потужністю акумуляторів та обмежений напругою і має запас по потужності до 6 кВт, але його максимальна кількість обертів досягається при видаємій потужності від 3 до 4 кВт. При цій потужності він також видає найбільший ККД та працює в режиму максимальної ефективності, що сприяє ефективному використанню електроенергії.

4.3 Розрахунок дальності ходу транспортного засобу

Для розрахунку дальність ходу використовують формулу яка на пряму залежить від режиму роботи двигуна , його потужності яку він видає , да швидкості пересування в режимі роботи двигуна.

Дальність ходу електротранспорту розраховується за такою формулою:

$$KM = (Wh / W_{\text{режим.}}) * V_{\text{режим.}}$$

KM – дальність ходу на одному заряді

Wh – ємність акумулятора в Вт/год яка буда розрахована за формулою 3.3

$W_{\text{режим.}}$ – споживана потужність в певному режимі при якій він рухає транспорт з швидкістю $V_{\text{режим.}}$ з якої він пересувається.

Най частіше моторанспорт пересувається в транспортному потоці з постійною швидкістю по дорозі в залежності від швидкісного режиму.

Для розрахунку було розглянуто 4 швидкосних режима пересування за певної швидкості.

- 60 км/год – режим пересування в населених пунктах з дотриманням швидкісного ліміту та правил дорожнього руху.

Споживання електроенергії становить 1920 Вт.

- 90 км/год – номінальний режим пересування поза межами населеного пункту з дотриманням швидкісного ліміту та правил дорожнього руху.

Споживання електроенергії становить 2650 Вт.

- 110 км/год – режим пересування по магістральних, швидкісних дорогах з дотриманням швидкісного ліміту та правил дорожнього руху.

Споживання електроенергії становить 3360 Вт.

- 125 км/год – режим пересування з виконанням маневру обгону який являється піковим режимом та являється швидкісним обмеженням для данної конфігурації двигуна та акумулятора.

Споживання електроенергії становить 3840 Вт.

Ємність встановленої батареї становить $Wh = 3840$ Вт/год. після розрахунків в пункті 3.3 за формулою ємності акумуляторної батареї 3.3.

Отримані данні являються максимальною дальністю ходу по дорогах без включення коефіцієнту аеродинамічного опору на транспортному засобі за сприятливих ідеальних умов.

На справі же при пересуванні на моторанспорті важливу роль грає коефіцієнт аеродинамічного супротиву.

Данна конфігурація транспортногo засобу являється мотоцикл типу класик/нейкед для якого характерний середній коефіцієнт аеродинамічного опору в вигляді 0.5-0.7 Н/м², що в свою чергу зменшує на 15-25% дальність ходу транспортногo засобу на швидкості 80+ км/годину. На швидкості до 60 км/годину даний коефіцієнт впливає менше. При швидкості до 60 км/годину коефіцієнт аеродинамічного опору зменшує дальність ходу на 10-15%.

- Режим 60 км/год – режим пересування в населених пунктах.

$$KM=(3840/1920)*60=120 \text{ км}$$

$$KM_{\text{реал.}}=120*0.9=108 \text{ км}$$

KM= 108 км дальність ходу в міському режимі.

Тільки на даний режим роботи діє зменшений коефіцієнт аеродинамічного опору в вигляді 10%. На подальші режими роботи та пересування з більшою швидкістю даний коефіцієнт становить 20%.

- Режим 90 км/год – режим пересування поза межами населеного пункту.

$$KM=(3840/2650)*90=131 \text{ км}$$

$$KM_{\text{реал.}}=132*0.8=104,8 \approx 104 \text{ км}$$

KM= 104 км дальність ходу в режимі поза межами населеного пункту.

- Режим 110 км/год – режим пересування по магістральних, швидкісних дорогах за межами населеного пункту з максимальною ефективністю двигуна.

$$KM=(3840/3360)*110=126 \text{ км}$$

$$KM_{\text{реал.}}=126*0.8=100,8 \approx 100 \text{ км}$$

KM= 100 км дальність ходу по магістральних, швидкісних дорогах.

• Режим 125 км/год – пересування при максимальній потужності в піковому режимі.

$$KM = (3840/3840) * 125 = 125 \text{ км}$$

$$KM_{\text{реал.}} = 125 * 0.8 = 100 \text{ км}$$

KM = 100 км дальність ходу в піковому режимі.

Таблиця 4.2 – Таблиця порівняння режимів їзди в залежності від швидкісного режиму.

Режим пересування та роботи	Сила струму А.	Потужність Вт.	Оберти двигуна Об/хв.	Швидкість руху Км/год.	Дальність руху Км.
Населений пункт.	40	1920	2224	60	108
Поза межами населеного пункту	53	2650	3336	90	104
По магістральних дорогах	70	3360	4075	110	100
В піковому режимі	80	3840	4620	125	100



Рисунок 4.3 – Діаграма порівняння залежності режиму руху та запасу ходу.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі був розроблений проєкт конверсії мотоцикла з двигуном внутрішнього згорання на електротягу в мототранспорті.

Результатом став проєкт який себе позиціонує як доступне рішення для використання переваг заводської ходової мототранспорту. Данне рішення дозволить перейти з пального для двигуна внутрішнього згорання на електроенергію з ціллю економії на живленні транспортного засобу, а також з ціллю створення індивідуального транспортного засобу з безліччю різноманітних конфігурацій для широкого спектру завдань які ставлять мототранспорту.

Проєкт був розроблений з використанням сучасних доступних комплектуючих такі як : BLDC двигун з контроллером коєрування в режимі рекуперації для самого двигуна ; багатоскладова Li-ion батарея з можливістю покращення характеристик та можливістю індивідуального ремонту пошкоджених комірок з використанням BMS-плати балансування що забезпечує безпечну експлуатацію акумуляторної багатоскладової батареї.

Були проведені розрахунки данної конфігурації , результати якої показують, що підібрані комплектуючу в цілком спроможні замінити заводський двигун внутрішнього згорання, а в деяких випадках має певні переваги в умовах щоденної активної експлуатації транспортного засобу на електротязі. Переваги проявляються в умовах спрощеної експлуатації, комфортного використання в умовах де мототранспорт з двигуном внутрішнього згорання викликає незручності, дещевезна відновлення запасу ходу в порівнянні з заправкою пальним для транспорту з класичним мотодвигуном, та зручності зберігання транспорту в звязку з безпекою здоров'я людини.

Розрахунки були проведені в середовищі MathCad для правильності підбору комплектуючих в залежності від поставленої задачі. Певні рисунки були створені в середовищі Splan для візуалізації правильності підключень електротехнічних схем живлення.

Данна робота має користь як основа для створення подібних проєктів по конверсії транспорту з двигуном внутрішнього згорання на електротягу.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Онушко, В.В. Моделювання електромеханічних систем: навчальний посібник / В.В. Онушко, Д.В. Стрижеус. – Полтава, ПолтНТУ, 2010. – 81с.
2. Crolla, D. — "Automotive Engineering: Powertrain, Chassis and Body" (2009)
3. Голодний І.М., Червінський Л.С., Жильцов А.В., Санченко О.В. Романенко О.І. Моделювання регульованого електропривода: Підручник. – К.: Аграр Медіа Груп, 2019. – 266 с.: іл.
4. Донець О. В. Теорія електропривода/ В. І. Колотіло, О. В. Донець; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 148 с.
5. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посібник для вищ. навч. закл., за ред. Поповича М.Г., Лозинського О.Ю. – К.:Либідь, 2005. – 678 с.
6. Зеленов А.Б. Теорія електропривода: Методика проектування електроприводів: Підручник. – Луганськ: Вид-во "Ноулідж", 2010. – 670 с.
7. Шефер, В.В. Електричні машини: навчальний посібник / В.В. Онушко, О.В. Шефер. – Полтава, ПолтНТУ, 2015. – 536 с.
8. Шефер О.В. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліни „Електричні машини” для студентів усіх форм навчання спеціальності 141 – “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2020. – 52 с.
9. Єрмілова Н.В., Кислиця С.Г. Навчальний посібник до самостійного вивчення курсу "Основи метрології і електричних вимірювань" для студентів спеціальності 141 „Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” денної та заочної форм навчання. – Полтава: ПолтНТУ, 2017. – 141 с.
10. Crolla, David A. — "Automotive Engineering: Powertrain, Chassis System and Vehicle Body" – Elsevier 2009
11. В.І. Бурда, О.В. Кругляк — "Теоретична механіка" – Вища школа 2005
12. М.М. Березовський — "Деталі машин та основи конструювання" – Лібра Терра 2004

13. Heisler, H. — "Advanced Vehicle Technology" (2002)
14. Шефер О.В., Єрмілова Н.В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності G3 «Електрична інженерія» (141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»). – Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2025. – 18 с.
15. Jose-Carlos Gamazo-Real et al. — «Position and Speed Control of Brushless DC Motors Using Sensorless Techniques and Application Trends» (2024)
16. Microchip Technology Inc. — Brushless DC Motor Fundamentals (app. note, 2003)
17. Ung Hee Lee et al. — «How to Model Brushless Electric Motors for the Design of Lightweight Robotic Systems» (2023)
18. "Lithium-Ion Batteries" (edited collection, OAPEN Library, 2012)

ДОДАТКИ

Додаток А

3 SELECTION OF TRAFFIC DRIVE, PROPOSED STRUCTURE OF TRAFFIC EQUIPMENT

For the conversion of motorized vehicles to electric traction, a BLDC motor will be used for the BLDC equipment that corresponds in power and torque to a factory commonly used and widespread 4-stroke internal combustion engine with a volume of 250 - 300 cubic centimeters.

3.1 Choosing an engine for motorcycle conversion

When choosing a traction engine, emphasis was placed on its reliability, efficiency in relation to its power, availability on the country's market, and small dimensions for installation in the vehicle frame.

The internal combustion engine that was taken for comparison and selection of the electric motor is a Chinese-made LONCIN 166FMM engine, which is also considered a simplified and more reliable copy of the engine of the Japanese motorcycle Honda CB250 Nighthawk.

Characteristics of the LONCIN 166FMM engine:

- Engine displacement: 250 cm³;
- Number of cylinders: 1;
- Number of strokes: 4;
- Maximum power / at revolutions per minute: 11 KWt / 9000 rpm;
- Maximum torque / at rpm: 17 Hm / 7000 rpm;
- Cooling: Air/liquid-oil;
- Type of fuel injection system: NIBBI-PE28 carburetor;
- Fuel type: gasoline A-95-Euro5-E5;
- Type of ignition: CDI;
- Piston diameter and stroke: 66.8mm x 64mm;
- Compression ratio: 6.5 to 1;
- Weight: 31 kg;

- Availability of a balancing shaft.



Figure 3.1 - LONCIN 166FMM internal combustion engine

In accordance with the characteristics of the internal combustion engine, the choice fell on the HPM3000B BLDC motor with characteristics that meet these needs for converting the motorcycle to electric traction.

Characteristics of the BLDC motor HPM3000V:

- Voltage for motor operation: 48-96V,
- Rated power: 2-3.8 KWt,
- Peak power that the motor can deliver: 7 KWt,
- Rated torque: 12.5 N/m,
- Peak torque: 25 N/m,
- Rotational speed: 4000-4500 rpm,
- EFFICIENCY: 91% ,
- Engine diameter: 182 mm,
- Engine length (without output shaft): 125 mm,

- Motor length including output shaft: 158.6 mm,
- Housing material: Aluminum,
- Motor weight: 8 kg,
- Type of motor cooling: air,
- Availability of protection against moisture.

When comparing the engines, several advantages were found in the characteristics: the electric motor, although it has lower revolutions, is a more tractable engine for use, which increases its use and its scope of use not only in motor vehicles, but also in use in motorized transport for transporting small amounts of cargo or passengers with higher torque, lower weight and compact dimensions. This electric motor does not depend on the position in space and makes it possible to install in different positions, when internal combustion engines due to the presence of lubricant in the design and the principle of its operation - does not allow the installation of the engine in different positions.

A nice addition to this BLDC motor is the possibility of installing water cooling instead of the current air cooling.

In conjunction with the conversion of this traction equipment, it is possible to use the factory liquid cooling, which was used in the internal combustion engine, to cool the electric motor.

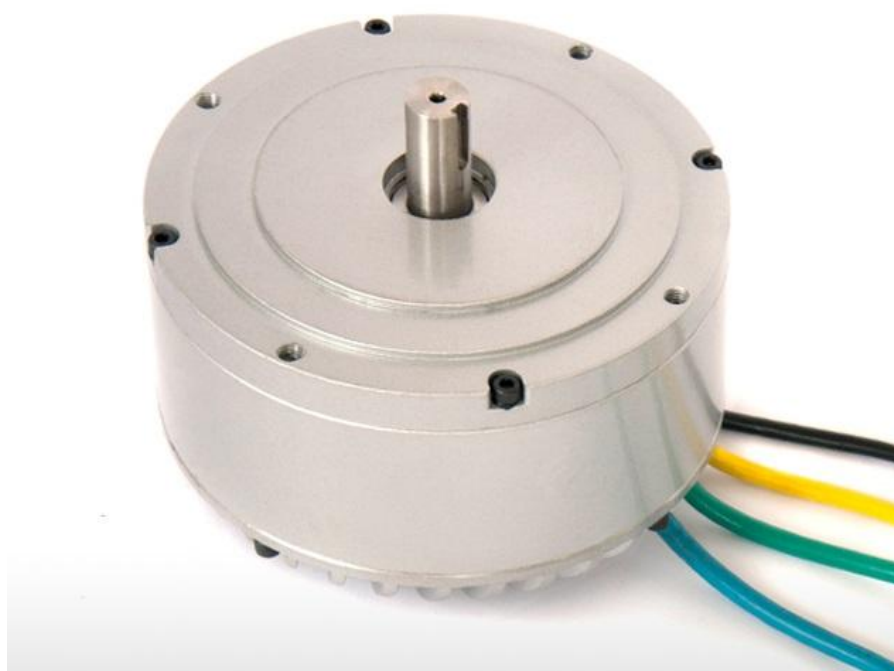


Figure 3.2 - Image of the BLDC motor HPM3000B

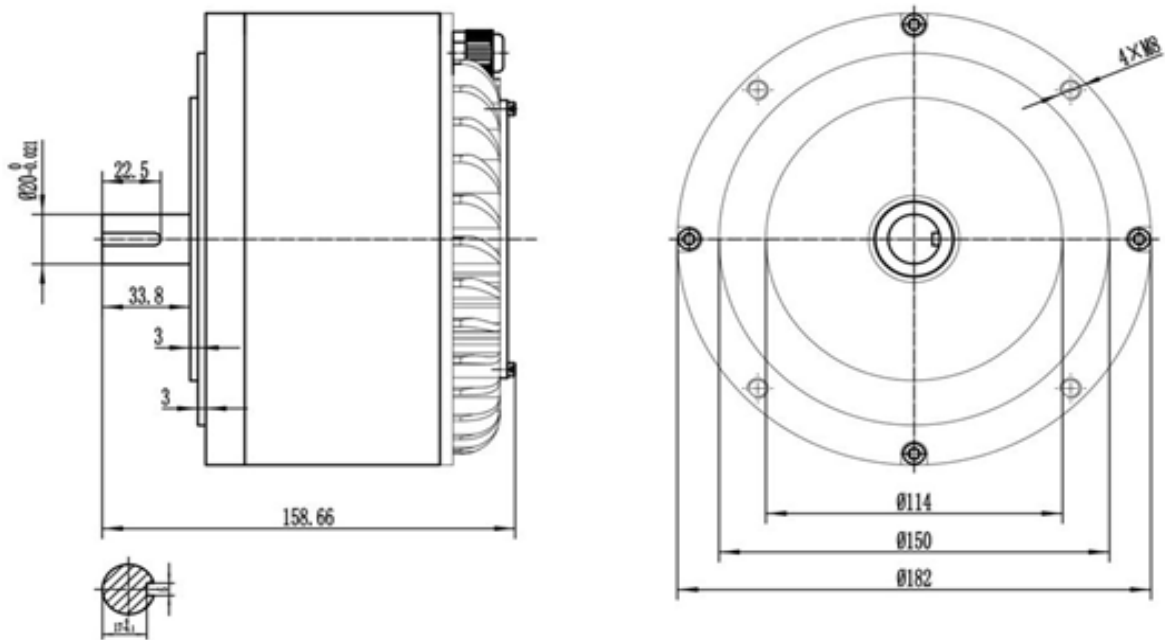


Figure 3.3 - Dimensions of the BLDC motor HPM3000B

3.2 Selection of the BLDC motor controller

To use the previously selected motor, it is necessary to select a BLDC controller to control the operating modes of the motor itself and control its traction and speed characteristics in several operating modes.

The BLDC programmable controller with regenerative mode Kelly KBL48151X was chosen for this task.

Electricity recovery (also known as regenerative charging or regeneration) is a process in which electrical energy released during braking or deceleration is returned to the power source or battery. In electric or hybrid vehicles, for example, regenerative charging occurs during braking or deceleration, when the kinetic energy of the vehicle is converted into electrical energy and stored in the battery. This makes it possible to improve energy efficiency and increase the range of electric vehicles on a single charge.

Key Features Kelly KBL48151X :

- Controller supply voltage range: 18V-90V.
- Operating frequency: 16.6 kHz.

- Current in standby mode: <0.5 mA.
- 5 V sensor supply current: 40 mA.
- Configurable battery voltage range: 18V-60V.
- Analog brake and throttle control input: 0-5 volts, generating a 0-5V signal with a 3-wire contact.

- Reverse travel alarm.
- Temperature range at full power: 0 to 50 °C.
- Temperature range: -30 to 90 °C, shutdown 100 °C.
- Increased current for 10 seconds: 200A.
- Motor current limit for 1 minute: 150A.
- Motor current limit in continuous mode: 80A.
- Ability to set the maximum battery current.

Features of the controller KBL48151X:

- Synchronous rectification, ultra-low drop and fast PWM to achieve very high efficiency.
- Electronic reverse.
- Overcurrent protection.
- Protection against overvoltage.
- Support for several modes: increase in rotational speed, increase in torque, balanced efficient mode.
- Ability to set the motor current limit and battery current limit.
- Fault codes that allow you to repair and correct faults yourself.
- Battery protection: current limit, warning and shutdown for high and low battery voltage.
- Durable aluminum housing for maximum heat dissipation in harsh environments.
- Ruggedized terminals and connectors designed for weak signal.
- Thermal protection: overcurrent shutdown, warning, and high temperature shutdown.
- Hall position sensor can be adjusted to 60 or 120 degrees.
- Supports motors with any number of poles.

- Support for three regenerative braking modes: brake switch regeneration, throttle release regeneration, variable regeneration of analog signal 0

Configurable high pedal protection: the controller will not operate if the maximum open handle position is detected during power-up.

- Current multiplication: take less current from the battery, output more current to the motor.

Easy to install: support three-wire potentiometer.

- Possibility to remove the LED driver fault code.

- Output current meter.



Figure 3.4 - Appearance of the Kelly KBL48151X controller

3.3 Selecting a power source for electric traction equipment

For the movement of a vehicle on an internal combustion engine, fuel systems are used to supply fuel to the combustion chamber, and the fuel itself is stored in a separate container and supplied by gravity or through specialized fuel pumps. In electric vehicles that require independent power supply and the absence of a power grid, batteries are used.

Nowadays, batteries or accumulators are widely used as a power source or storage of electricity that can be supplied at any time, can also receive it and store it until the

appropriate time of use, for example, to power the internal combustion engine described earlier, or to power electric traction equipment instead of the internal combustion engine.

Today, there are many variations of batteries for power supply, which differ in operating voltage, capacity, weight, shape and purpose.

For the above configuration of the BLDC motor HPM3000V and its controller Kelly KBL48151X, a LiFePO₄ Must LP15-1220 battery was selected.

This battery has the following characteristics:

- Model: LP15-1220 ;
- Brand: Must Power ;
- Battery type: Lithium ;
- Technology: LiFePO₄ ;
- Cell manufacturer: EVE ;
- Resource: more than 6000 cycles (when using 90% of the battery capacity) ;
- Rated voltage: 12 B ;
- Rated capacity: 20 A/h ;
- Maximum discharge current: 20 A ;
- Deep discharge voltage: 10.8 B ;
- Charge voltage: 14.6 B ;
- Maximum charging current: 20 A ;
- Connection in series: up to 4 batteries (up to 51.2 V) ;
- Connection in parallel: not limited ;
- Connection terminal: M5 ;
- Operating temperature:
 - Discharge: -20~60 °C ;
 - Charging: 0~+50°C ;
 - Recommended: +5~+45°C ;
- Dimensions: 181x77x170 mm ;
- Weight: 2.625 kg.

The features of this battery are a sealed design that allows you to install it in different positions, which is a great advantage for use in most classes of motorcycles. Some classes of motorcycles can move in different positions and at an acute angle relative to its position. Its sealed enclosed design also provides moisture protection from the environment, which improves installation in vehicles and simplifies the integration of this battery into the vehicle structure. Another advantage is the built-in battery management system (BMS - Battery Management System), which provides uniform charging and discharging of the battery, protection against deep discharge and overvoltage of cells, protection against overheating. The battery uses new cells from EVE.



Figure 3.5 → Appearance of the Must LP15-1220 battery.

This battery has an operating voltage of 12 V, which is 4 times less than the operating voltage of the traction equipment.

The solution to this problem is to connect the batteries by the method of series connection to increase the operating voltage adopted for the engine operation.

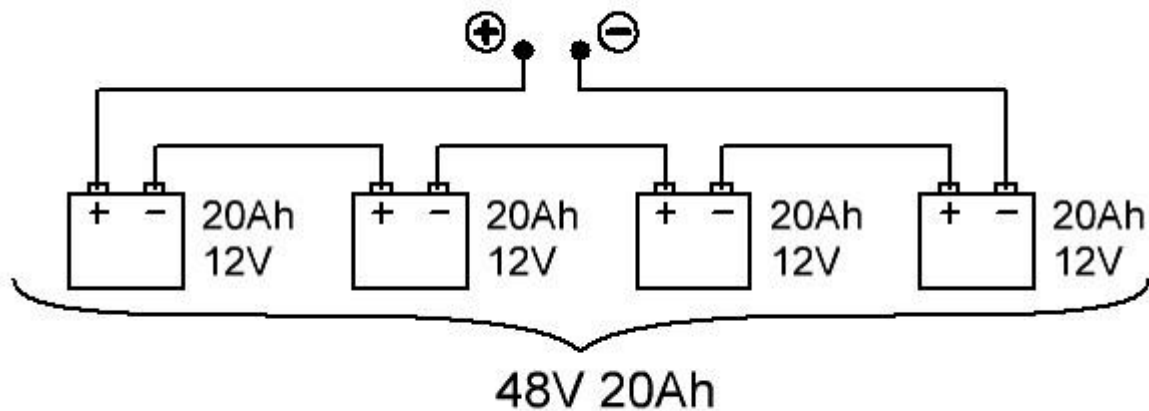


Figure 3.6 is a simplified assembly diagram of the traction motor power supply accumulator.

This scheme is a minimum autonomous power supply system for the traction motor to maintain the ability to move the vehicle and minimize operation. This power supply scheme has an important advantage - the unification of each cell to a common voltage of 12 V with common batteries to power the vehicle, where in case of failure of 1-2 batteries, it is possible to use a temporary solution. Such a solution allows you to get to the nearest repair site on the road and fix the problem.

There are also ready-made solutions for 48 V DC on the market, but they have a price that is 40-90% higher depending on the manufacturer, capacity, purpose, dimensions, and weight. In addition, most off-the-shelf batteries do not have the ability to replace damaged cells due to the ready-made closed battery design.

To increase the capacity of the battery, the method of parallel connection is used to increase the power supply capacity and also to increase the current strength of the assembly of several parallel connected batteries. The battery that was selected earlier has a capacity of 20 A/h and can deliver a peak current of 20 A, but this will not be enough to power the selected engine system, and a decision was made to increase the current that the battery can deliver.

In the documentation for this motor, the minimum power for operation is 1600 W.

$$P = U \cdot I \quad (3.1)$$

P is the power of the motor;

I is the current to power it;

U is the voltage to operate it.

Using this formula, you can calculate the minimum current to power the motor so that it maintains its rated torque and can start moving the vehicle.

$$I = \frac{P}{U} \quad (3.2)$$

According to the calculations, we will get the minimum current to power and move the system.

$$I = 1600/48 = 33.33 \text{ A}$$

$$I = 33.33 \text{ A}$$

After the calculations, we get the minimum current that the battery can provide for the movement of the vehicle, which is $I_{\min} = 33.333 \text{ A}$.

According to the data obtained, the previous structure of the series connection and power supply of the engine is not suitable due to the low current strength that the assembled battery assembly can produce, since its maximum current strength is 20 A. Under such conditions, it is necessary to increase the capacity of the battery circuit by 2 times and the most suitable method is the method of parallel connection of batteries

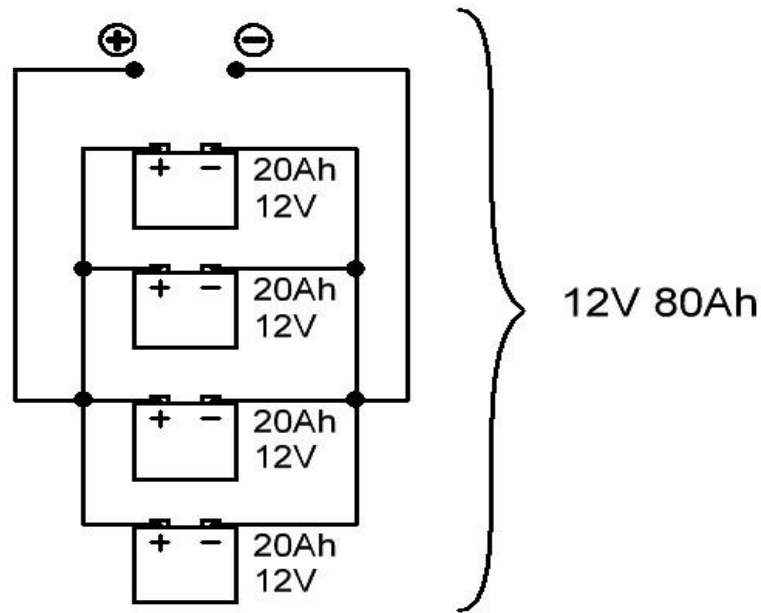


Figure 3.7 - Simplified connection diagram of 4 pre-batteries from Figure 3.6 in parallel.

If you use 4 such power cells with characteristics 12V 40Ah and connect them in series, you can get the minimum power supply for the vehicle movement.

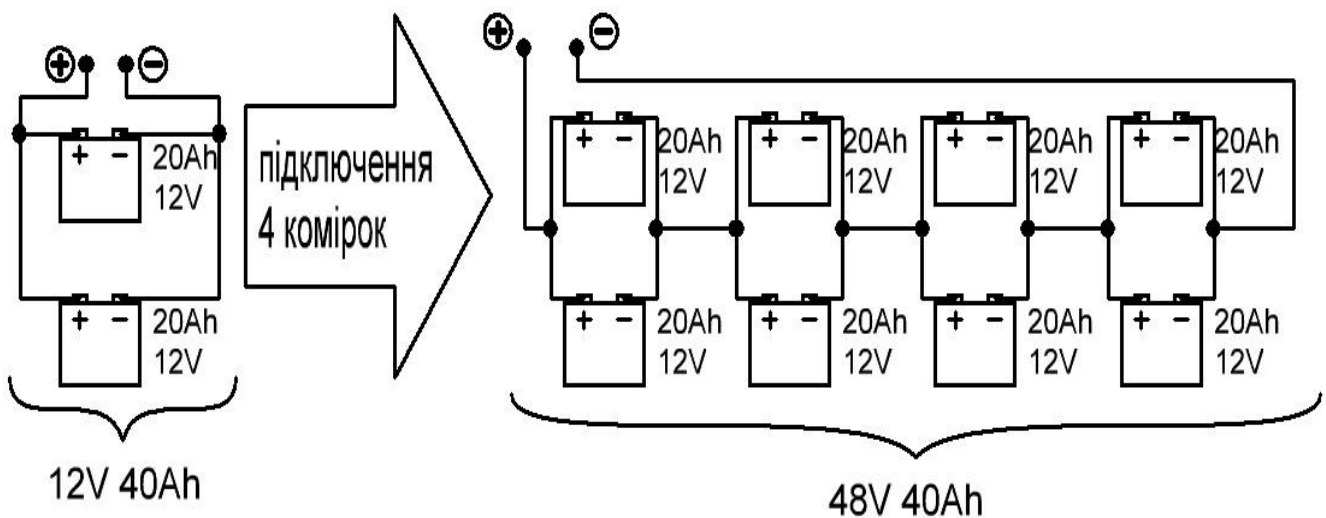


Figure 3.8 - Diagram of the minimum engine power supply and battery cell balancing.

When selecting a battery cell, the maximum peak current is also taken into account. The BLDC motor has a rated operating mode of 2-3.5 kW of power. The motor will be operated to maximize efficiency in its rated mode to preserve its life and reduce the likelihood of breakdowns on the road. To calculate the maximum current strength of the battery system, the maximum power that the engine can deliver in rated operation was taken: 3500 W.

According to the formula 3.1 on the calculation of the power consumption from the current and voltage, the maximum current in the nominal operating mode was calculated.

$$I=3500/48=72.92 \text{ A}$$

$$I=72.92 \text{ A}$$

Under these conditions, a link of 4 batteries with a total capacity of 80 Ah should be used to create the entire battery. Or a total current of 80 A, which is shown in Figure 3.7. However, such links of 4 parallel-connected batteries need to be used 4 times to increase the total voltage to 48 V.

In this configuration of balancing the batteries for power supply, we will get 4 cells of parallel connected batteries, each of which will have 4 batteries, where the total number will be 16 pcs.

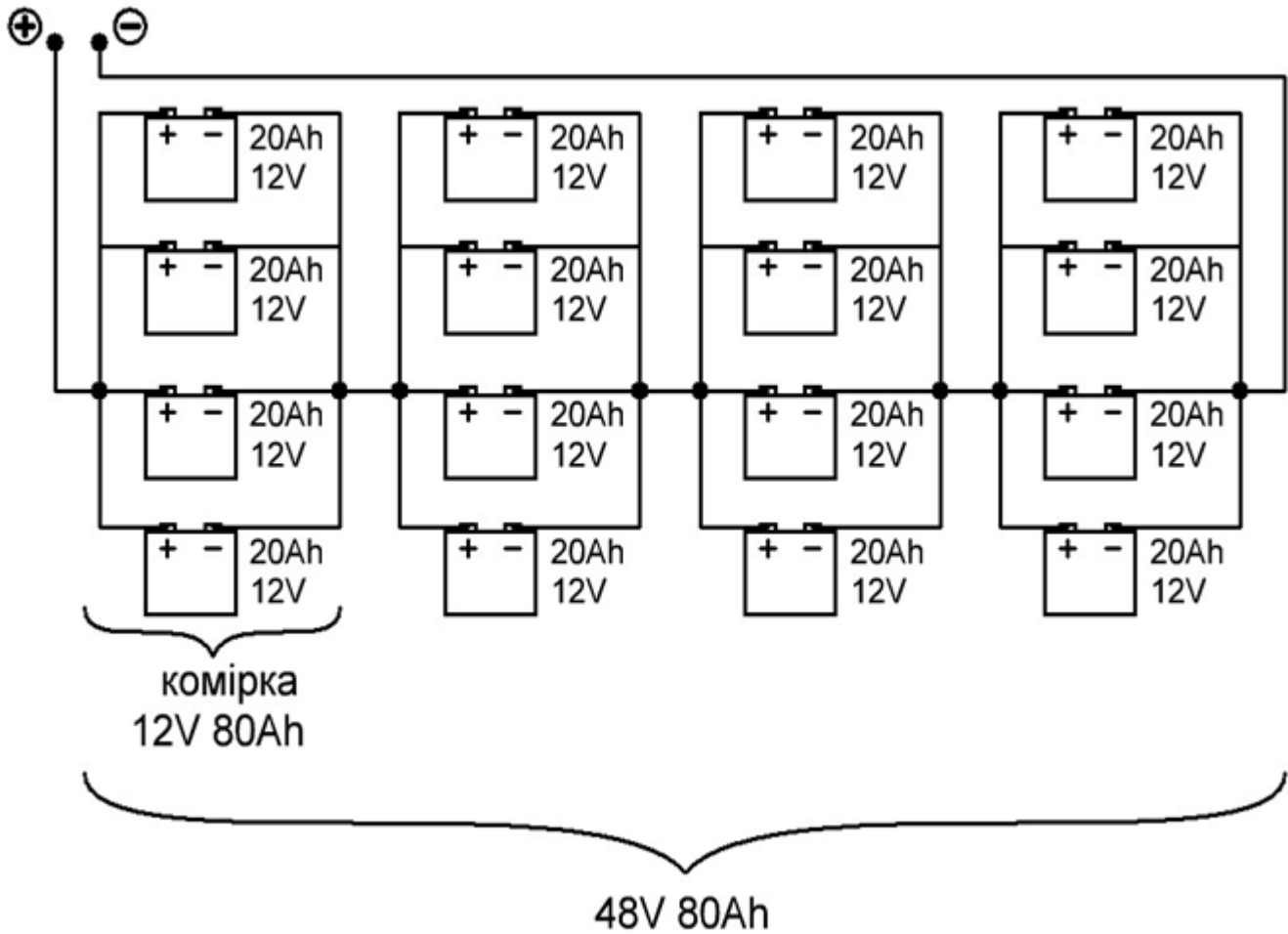


Figure 3.9 - Diagram of connecting batteries into one common power supply battery for the needs of a BLDC motor based on the Must LP15-1220 battery.

Formula for calculating the battery capacity in Wh/h.

$$Wh = U \cdot Q \quad (3.3)$$

$$Wh = 48 \cdot 80 = 3840 \text{ Wh/h.}$$

$$Wh = 3840 \text{ W/h.}$$

This battery allows you to operate for more than 1 hour at maximum power in the rated engine mode.

3.4 Selection of safety protection measures for the battery

After selecting the traction system, the autonomous power supply and the controller for controlling the BLDC motor, it is necessary to take protective measures to ensure safe and correct operation of the vehicle.

One of the solutions is the BMS (Battery Management System) board for managing the charge and discharge of the battery, which is assembled from individual cells.

BMS is an abbreviation for Battery Management System. It is an integrated circuit system used to monitor and control the status of the battery system to ensure normal operation and safe use of the battery. The application of BMS covers various fields such as electric vehicles, energy storage systems, drones, and power tools, and can improve the service life, safety performance, and durability of batteries.

The main functions of BMS are as follows:

- Perception: The BMS can measure and evaluate various battery parameters and status in real time, such as voltage, current, temperature, state of charge (SOC), state of health (SOH), etc.
- Management: The BMS can perform balanced management, temperature management, charge and discharge management, etc. of the battery to maintain consistency and optimal battery performance.
- Protection: The BMS can protect the battery from overcharge, overdischarge, overheating, overcurrent and other abnormal conditions according to certain protection control strategies and provide timely alarm.

This solution can solve several possible problems, for example

- Charge balancing, which makes it possible to redirect excess energy from one cell to another that needs to be recharged;
- Safe operation and use of the battery with balanced charge and discharge;
- Safety against short circuits and early warning of a damaged cell of the prefabricated battery.

Classification of BMS:

- Distributed BMS:

This is an architecture that includes a slave control unit (SCU), a high voltage control unit (HMU), and a master control unit (MCU). They monitor and control battery cells, clusters, and arrays.

The benefits include reduced length/number of wiring harnesses, increased reliability, and scalability, which is ideal for high capacity/voltage batteries.

Currently, there is no single standard, which leads to a variety of solutions/terminology by different manufacturers.

Distributed BMS has promising applications in electric vehicles, energy storage systems, improving battery performance, safety, service life, reducing operating costs, and providing intelligent control.

- Centralized BMS:

A centralized BMS is a hardware device that collects and monitors information from all battery cells. It is suitable for scenarios where the number of battery cells is small, the overall battery system voltage is low, and the battery system is small in size.

The advantages of centralized BMS are simple structure, low cost and high reliability. It can realize basic monitoring and protection of battery cells, such as collecting voltage, temperature, current, insulation and other parameters, and abnormal alarm.

The centralized BMS is currently mainly used in applications with low capacity, low total voltage and small battery system size, such as power tools, robots, smart homes, electric forklifts, electric low-speed vehicles, mild hybrid vehicles, etc.

One of the options for use in the pre-selected battery and power configuration was the LogicPower LiFePO4 16S 80-80 BMS controller board, which meets the needs of the above-selected system configuration.

This BMS controller has the following characteristics:

- Battery type: LiFePO4 ;
- Type of controller: symmetrical ;
- Rated voltage: 48 V ;

- Upper threshold of control voltage: 60 B ;
- Lower threshold of control voltage: 40 B ;
- Maximum discharge current: 80 A ;
- Maximum charging current: 80 A ;
- Number of channels for balancing: 16 ;
- Current strength for balancing: 35 mA ;
- Length: 150 mm ;
- Width: 66 mm ;
- Height: 19 mm ;
- Weight: 0.385 kg (385 g).

This BMS-controller has a sealed board structure that allows its use on motor vehicles, as well as its characteristics allow you to have a power reserve where you can use it for a different configuration of battery cells depending on their abuse, current strength and method of connection, balancing.

Also, this manufacturer of BMS controllers, and the manufacturer LogicPower itself, is a reliable global manufacturer of components for assembling electronic equipment and its control.



Figure 3.10 - LogicPower LiFePO4 16S 80-80 BMS controller.

Such a BMS controller was integrated into the battery connection circuit to control their cells and charging and operation. This controller uses its outputs to control the charging between cells that are connected in series with each other.

This BMS board supports power control of up to 16 cells connected in series, so when using the controller in a battery connection and balancing circuit, 4 of the 16 positive current contact outputs will be used. Reverse polarity batteries have a common negative terminal connection to the -B output, which serves as a common negative terminal for powering and controlling the battery cells in series.

Charge control and balancing is performed through 4 of the 16 positive terminal connection cables. The controller balances the charge between the cells in series and regulates the total charge between the 4 battery cells.

The entire battery is charged through the common positive terminal and the negative output on the control board, which is labeled - (-P).

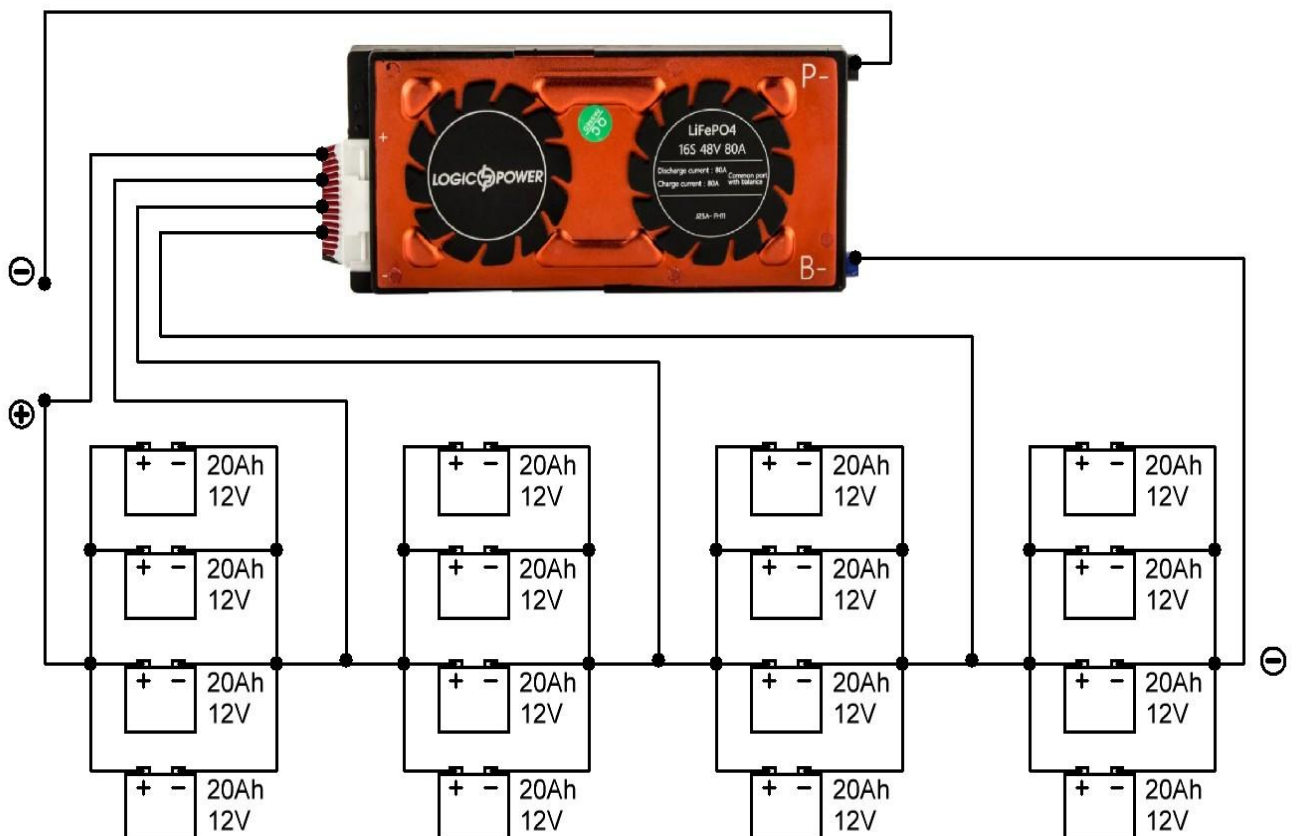


Figure 3.11 - BMS controller that is integrated into the circuit for connecting and balancing the battery cells that make up the entire battery.

3.5 Conclusions to the section

The general components of the kit for conversion to electric traction were selected. These components and the proposed structure, which correspond to the characteristics of the engine that was taken as a sample of a common and popular motor engine from section 3.1, satisfy the needs of the vehicle. Particular attention can be paid to the design of the autonomous power supply or battery that feeds the overall structure. Its main advantages are the availability of assembly and purchase of components; unification of characteristics that makes it possible to assemble a budget version or improve the existing battery design shown in Figure 3.11.

Розроблення проєкту конверсії мотоцикла з двигуном внутрішнього згорання на електротягу

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-МЕ

Спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

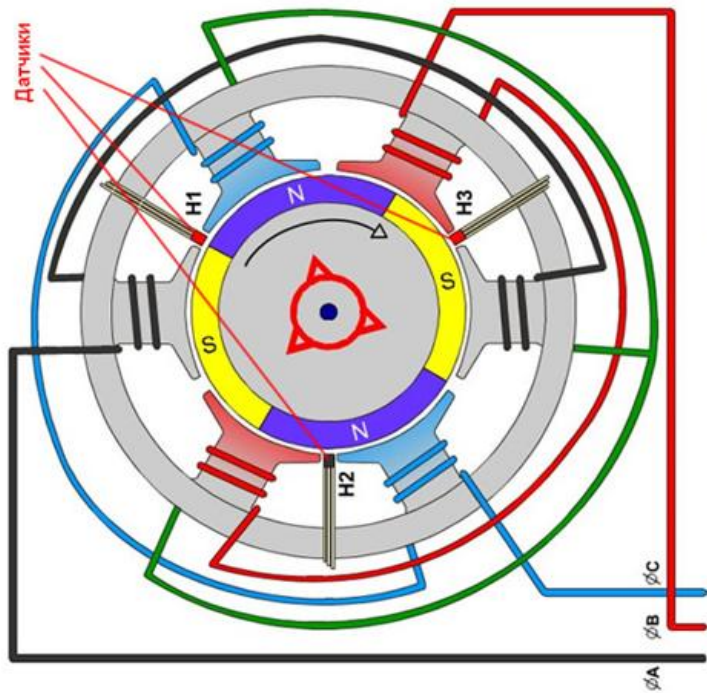
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Левенських І.М.

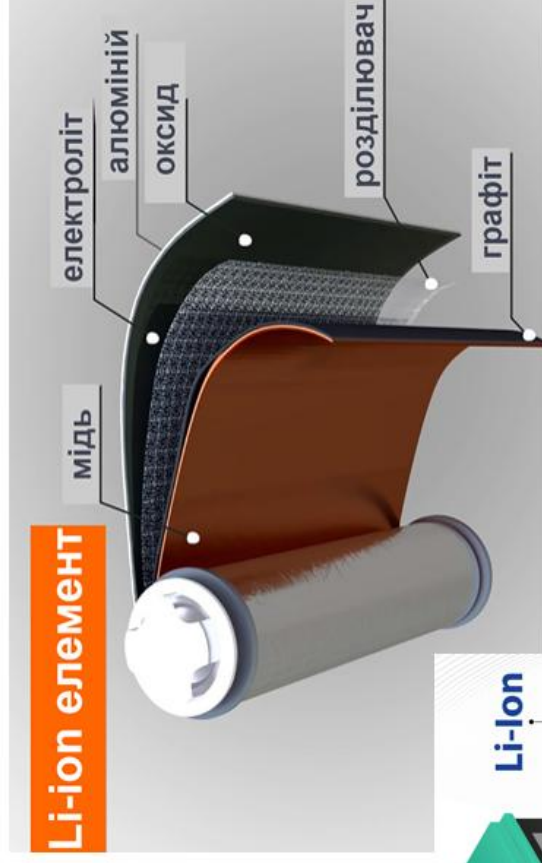
Керівник Трет'як А.В.

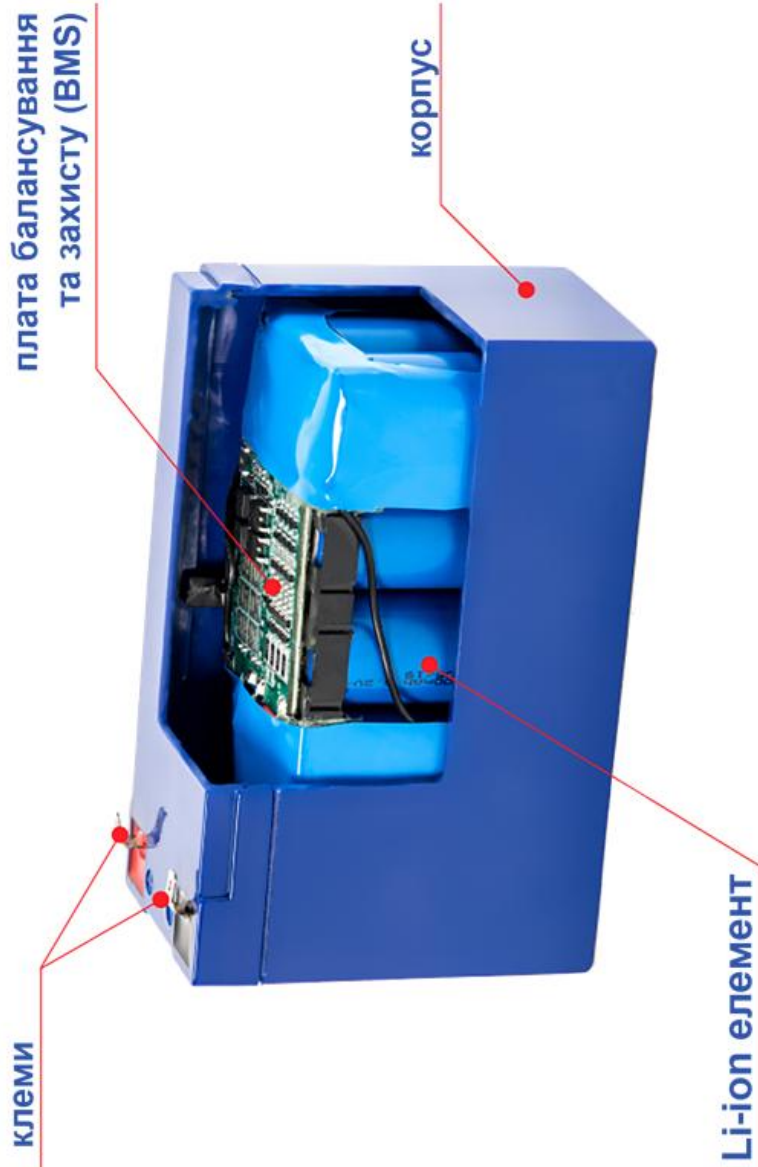
BLDC двигун (безщіточний двигун постійного струму)

Безщіточні двигуни постійного струму (BLDC) широко використовуються в промисловій автоматизації, автомобільній промисловості, медичному обладнанні, штурманському інтелекті та інших галузях через їх тривалий термін служби, низький рівень шуму та високий крутний момент. BLDC мають широкий діапазон розмірів і типів, і на практиці ми необхідно вибрати правильний двигун BLDC, який відповідає вимогам до продуктивності програми.



Вибір типу акумуляторної батареї





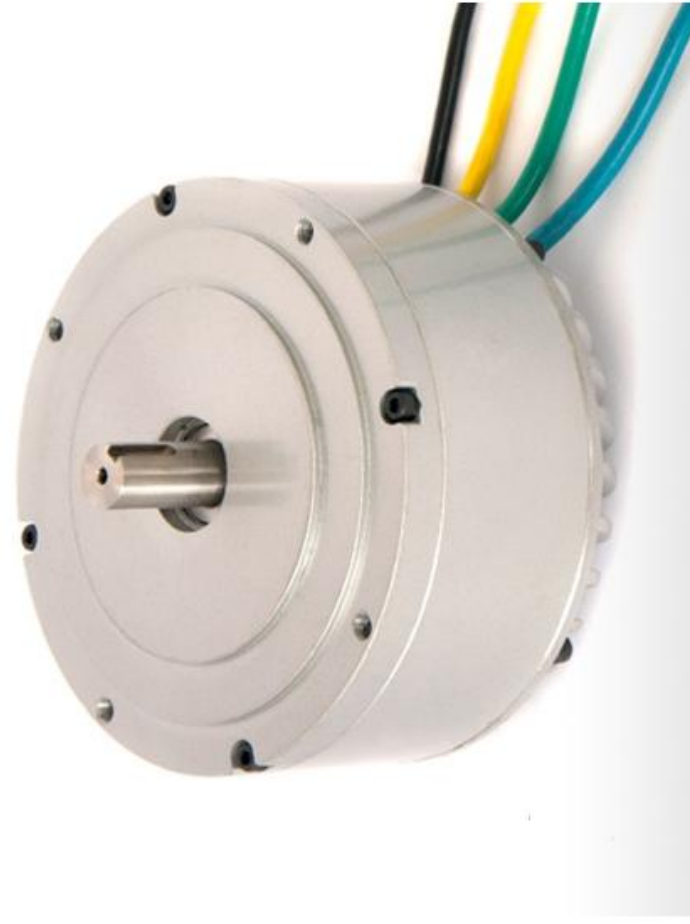
Літій-іонні. (Li-ion) акумулятор

Основа конструкції Li-ion пристроїв - анод, виготовлений з вуглецю пористого на мідній фользі, і катод, виконаний з оксиду літію на алюмінієвій фользі. Розділювачем виступає пористий поліпропіленовий сепаратор, який просочений електролітом, що виконує роль провідника. Всі елементи укладені в герметичний корпус, електроди підключаються до струмознімачів. У деяких моделях передбачений клапан, який відповідає за скидання тиску всередині конструкції.

Підбір аналога VLDC двигуна до ДВС

LONCIN 166FMM 250 см3

HRM3000B 3-4 kWh



Вибір живлення

Модель: LP15-1220 ;

Бренд: Must Power ;

Тип АКБ: Лігівій ;

Технологія: LiFePO4 ;

Виробник комірок: EVE ;

Ресурс: понад 6000 циклів (при використанні 90% енергоємності батареї) ;

Номинальна напруга: 12.8 В ;

Номинальна ємність: 20 А/год ;

Максимальний струм розряду: 20 А ;

Напруга глибокого розряду: 10.8 В ;

Напруга заряду: 14.6 В ;

МАКСИМАЛЬНИЙ СИЛА СТРУМУ ЗАРЯДКИ:
20 А ;

ПІДКЛЮЧЕННЯ ПОСЛІДОВНО: ДО 4-Х АКБ
(ДО 51,2 В) ;

ПІДКЛЮЧЕННЯ ПАРАЛЕЛЬНО: НЕ
ОБМЕЖЕНО ;

ТЕРМІНАЛІ ПІДКЛЮЧЕННЯ: М5 ;

ТЕМПЕРАТУРА ЕКСПЛУАТАЦІЇ:

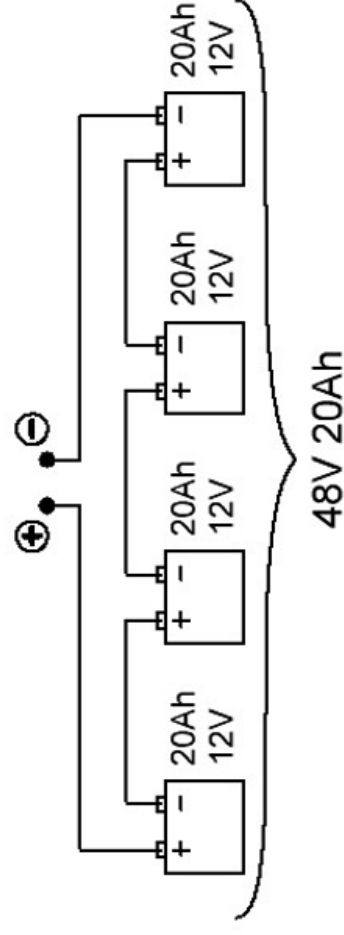
Розрядка: -20~60 °С ;

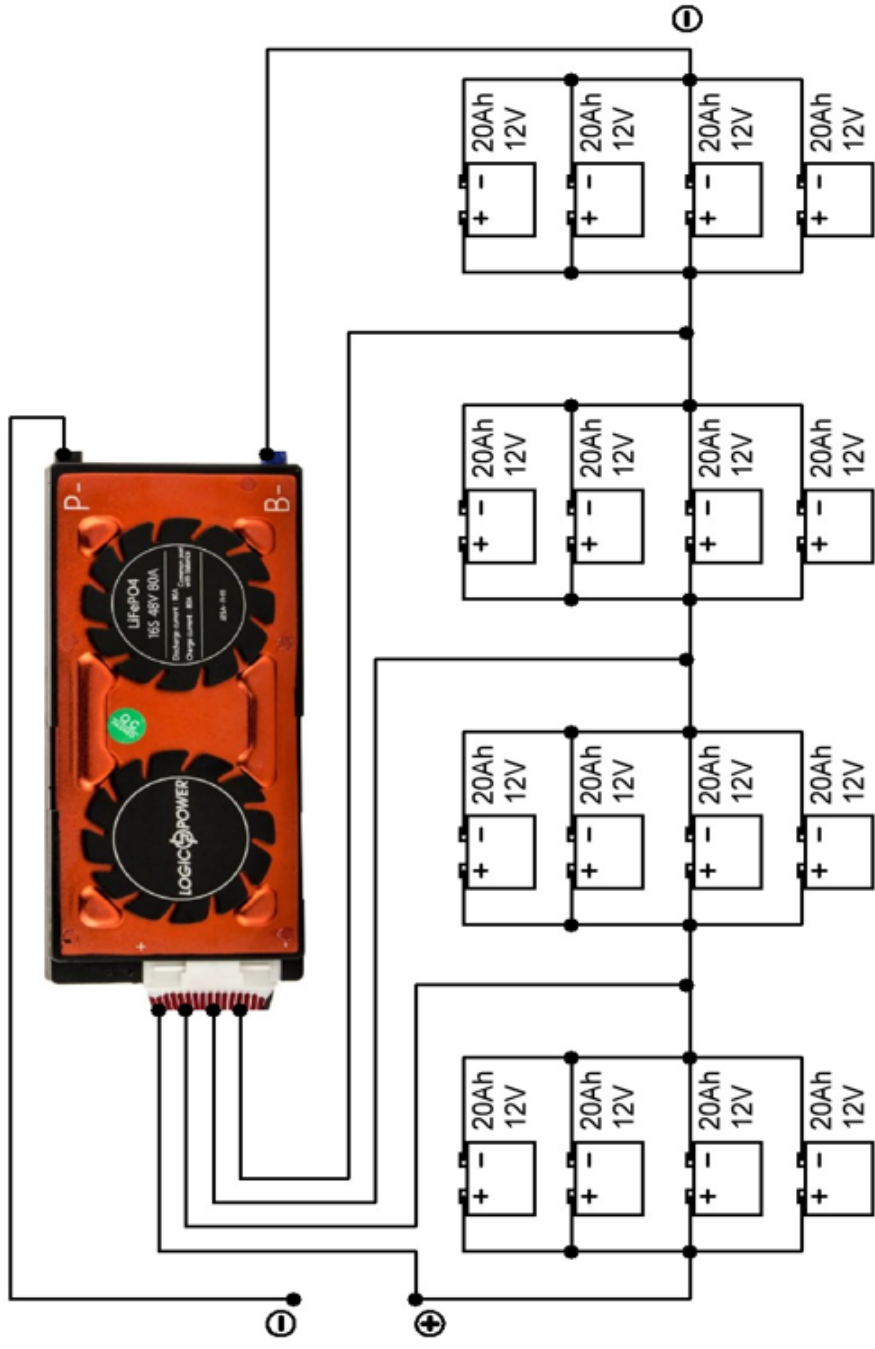
Заряджання: 0~+50°С ;

РЕКОМЕНДОВАНА: +5~+45°С ;

РОЗМІРИ: 181x77x170 мм ;

МАСА: 2.625 кг.

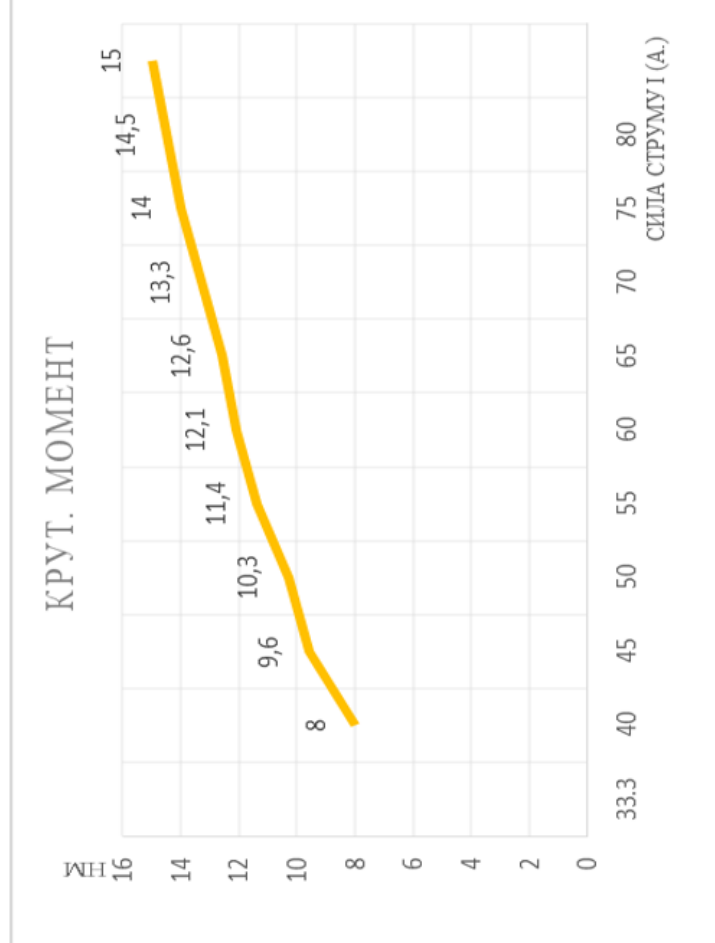
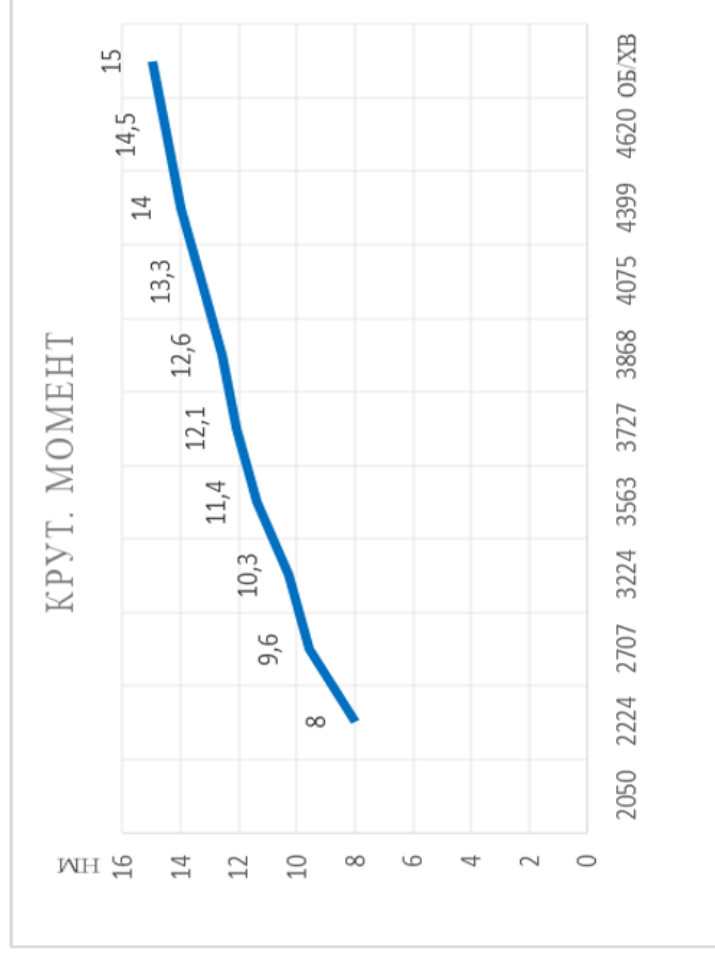




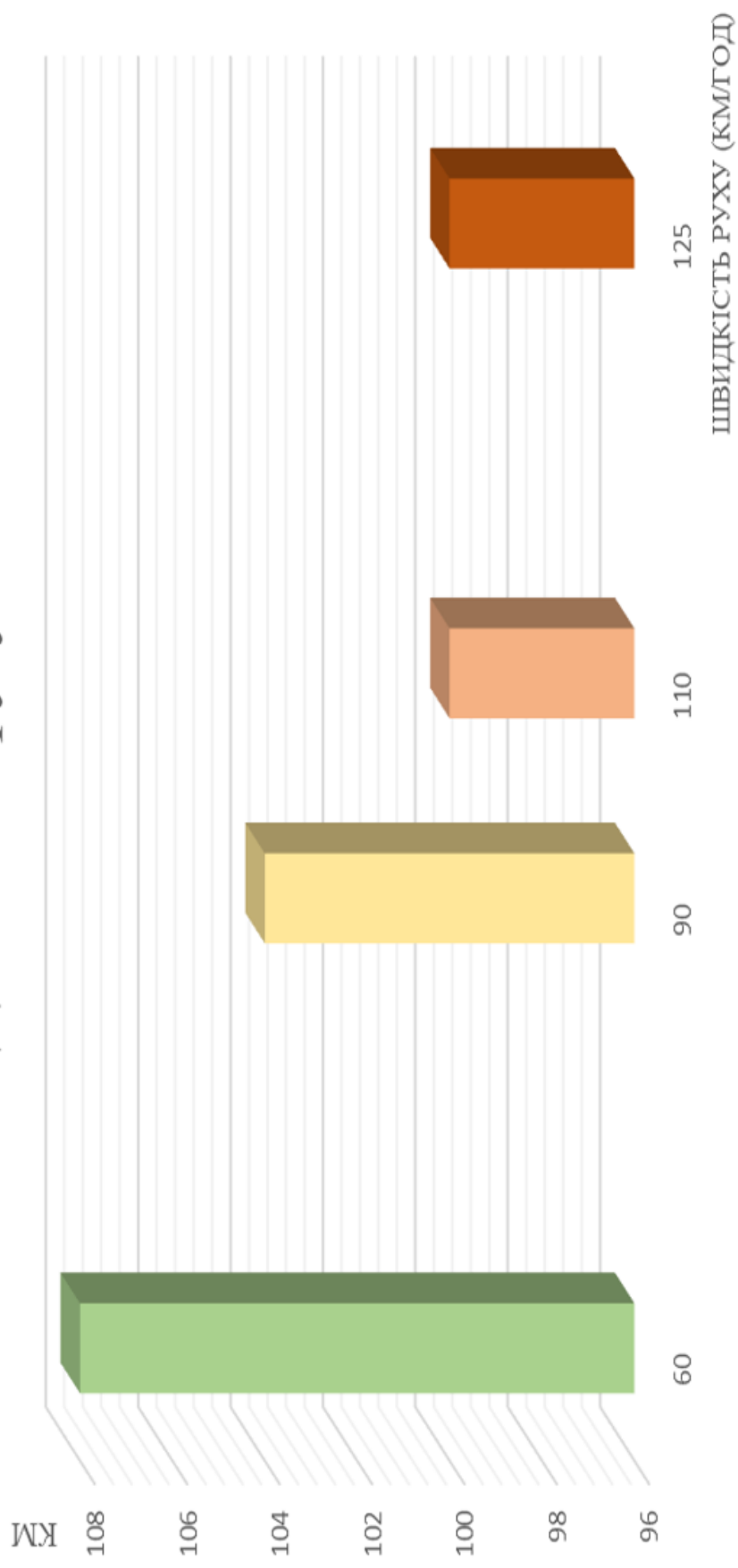
Фінальна схема акумуляторної батареї

Батарея зібрана з 16 комірок (акумуляторів) 12 В 20 А та працюють в комбінованому режимі маса данного АКБ від 43 кг в залежності від довжини провідників якими підключені між собою комірки

Графіки Тягових характеристик



Дальність руху



Дальність руху в залежності від режиму їзди

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі був розроблений проект конверсії мотоцикла з двигуном внутрішнього згорання на електротягу в мототранспорті.

Результатом став проект який себе позиціонує як доступне решення для використання переваг заводської ходової мототранспорту. Данне рішення дозволить перейти з пального для двигуна внутрішнього згорання на електроенергію з ціллю економії на живленні транспортного засобу, а також з ціллю створення індивідуального транспортного засобу з безлічю різноманітних конфігурацій для широкого спектру завданнь які ставлять мототранспорту.