

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій і технічного захисту інформації
(повна назва)

Кафедра Радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

ПРИСТРІЙ ЗБОРУ СТАТИСТИКИ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОВЕЛОСИПЕДА

(тема)

Виконав:

студент III курсу, групи ТРРТу-21-1

Суslopeць Р.І.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 Телекомунікації та
радіотехніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Радіотехніка

(повна назва освітньої програми)

Керівник ст. викладач Ганшин Д.Г.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
В.о.зав. кафедри РТІКС

_____ (підпис)

Зарудний О.І.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій і технічного захисту інформації

Кафедра Радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і повна назва)

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Радіотехніка

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«_____» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові СУСЛОВЦЮ РУСЛАНУ ІГОРОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **ПРИСТРІЙ ЗБОРУ СТАТИСТИКИ ПАРАМЕТРІВ
ЕЛЕКТРОВЕЛОСИПЕДА**

затверджена наказом по університету від **27 травня 2024 р. № 498 Ст**

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії **10 червня 2024 р.**

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Провести огляд та аналіз аналогічних систем _____

3.2 Розробити структурну схему пристрою _____

3.3 Обрати елементну базу для реалізації пристрою _____

3.4 Розробити програмне забезпечення роботи пристрою _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

**Вступ. 1 Огляд розвитку аналогічних систем. 2 Вибір та обґрунтування
комплектуючих. 3 Розробка програмного забезпечення. Висновки. Перелік джерел
посилання. Додатки.**

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) _____
Слайди комп'ютерної презентації

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	6.05-8.05.2024	виконано
2	Огляд розвитку електровелосипедів	09.05-13.05.2024	виконано
3	Аналіз існуючих типів комплектуючих для електровелосипедів	14.05-19.05.2024	виконано
4	Вибір та обґрунтування комплектуючих електровелосипеда	20.05-27.06.2024	виконано
5	Розробка програмного забезпечення	28.06-06.06.2024	виконано
6	Висновки	07.06.2024	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	08.06.2024	виконано
8	Оформлення ілюстрацій	09.06.2024	виконано
9	Представлення роботи на кафедрі	10.06.2024	виконано

Дата видачі завдання **6 травня 2024 р.**

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Суловець Р. І.

ст. викл. Ганшин Д. Г.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з пояснювальної записки, що містить 65 сторінок тексту, 33 рисунка, 10 джерел посилання і 3 додатка.

ЕЛЕКТРОВЕЛОСИПЕД. ЕЛЕКТРОДВИГУН. МОТОР-КОЛЕСО. АКУМУЛЯТОР. МІКРОКОНТРОЛЕР. ІНТЕРФЕЙС.

Об'єктом розробки є система збору статистики параметрів електровелосипеда.

Метод дослідження – описово-аналітичний

Метою роботи є дослідження актуальності розробки контролера для електровелосипеда, визначення актуальності завдання і знаходження конкретних вирішень стосовно варіантів реалізації проєкту.

В даній роботі проведено огляд і аналіз вимог до характеристик електродвигуна, типу акумуляторів і контролера, розроблено схему системи, обрано конкретну елементну базу для реалізації пристрою збору статистики параметрів електровелосипеду та написано програмне забезпечення для системи керування цією системою.

ABSTRACT

The qualification work of the bachelor consists of an explanatory note containing 65 pages of text, 33 figures, 10 literary sources and 3 appendices.

ELECTRIC BICYCLE. ELECTRIC MOTOR. MOTOR-WHEEL.
BATTERY. MICROCONTROLLER. INTERFACE.

The object of development is a system for collecting statistics on the parameters of an electric bicycle.

Research method - descriptive and analytical

The method of work is to study the relevance of developing a controller for an electric bicycle, recognizing the relevance of the request and knowledge of specific verified cost options for implementing the project.

In this work, a review and analysis of possible characteristics of an electric motor, type of batteries and controller is carried out, a system diagram is developed, a specific element base is selected for the implementation of a device for collecting statistical parameters for an electric bicycle and software is written to control this system.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	7
Вступ.....	8
1 Огляд розвитку електровелосипедів	9
1.1 Історія винаходу велосипеда.....	9
1.2 Розвиток електровелосипедів	11
2 Аналі існуючих типів комплектуючих для електровелосипедів	16
2.1 Основні компоненти електровелосипеду	16
2.3 Типи акумуляторів, що застосовуються для електровелосипедів	23
2.4 Огляд контролерів що використовуються.....	29
3 Пристрій збору даних електровелосипеду	47
3.1 Апаратна частина пристрою	47
3.2 Програмна частина пристрою.....	53
Висновки	64
Перелік джерел посилань	65
ДОДАТОК А (Код програми)	66
ДОДАТОК Б (Копії презентації)	75
ДОДАТОК В (Відомість кваліфікаційної роботи)	83

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

- ПЗ – програмне забезпечення;
- pedal-assist – система допомоги обертанню педалей;
- conversion kit – комплект електровелосипеда;
- IDE – інтегроване середовище розробки;
- UART – універсальний прийомопередатчик;
- SPI – послідовний периферійний інтерфейс;
- GPIO – інтерфейс вводу/виводу загального значення;
- Wi-Fi – технологія бездротової передачі даних;
- COM-порт – інтерфейс для обміну даними;
- HTTP – протокол передачі гіпертексту;
- DAC – цифро-аналоговий перетворювач;
- ADC – аналогово-цифровий перетворювач;
- EPC – електрорушійна сила;
- ККД – коефіцієнт корисної дії;
- FreeRTOS – багатозадачна операційна система реального часу;
- Семафор – примітив синхронізації процесів і потоків;
- М'ютекс – двійковий семафор;
- ARM – поліпшена RISC машина.

ВСТУП

На сьогоднішній день, тема електровелосипедів досі є зростаючою та набуває нових брендів та варіантів реалізації ідеї полегшити обертання педалей. Винахідливість та прагнення до вдосконалення закладені в людській природі, адже протягом своєї історії людина завжди прагнула полегшити своє життя, знаходити нові способи виконання завдань та вирішення проблем. Це еволюційний імпульс, який допомагає людству адаптуватися до змін та покращувати своє середовище. Так само це стосується і одного з найпопулярніших видів транспорту на сьогоднішній день – велосипеда.

Враховуючи зростаючі тенденції популярності електротранспорту, актуальним є питання подальшого розвитку ідеї об'єднання усіх систем керування електровелосипедом, а саме акумуляторної батареї, електродвигуна, та інших систем управління.

Принцип підключення контролера керування електровелосипедом можна уніфікувати і використовувати в електросамокатах і навіть електромобілях завдяки універсальності та спільних базових принципів електричних систем управління. Таким чином, універсальність основних компонентів, подібні принципи управління та стандартизація інтерфейсів і протоколів роблять можливим в подальшому уніфікацію контролерів для електровелосипедів, електросамокатів та електромобілів. Це спрощує розробку, виробництво і обслуговування цих систем, дозволяючи використовувати одні і ті ж рішення для різних типів електротранспорту.

1 ОГЛЯД РОЗВИТОКУ ЕЛЕКТРОВЕЛОСИПЕДІВ

1.1 Історія винаходу велосипеда

Велосипед — транспортний засіб, який приводить в рух сила людських м'язів, що передається на ведуче колесо. Зазвичай велосипеди мають два колеса, але бувають також триколісні велосипеди та інші, екзотичніші — одноколісні, чотириколісні тощо. Нині у світі використовується понад мільярд велосипедів; таким чином велосипед — найрозповсюдженіший транспортний засіб. Він став таким завдяки низькій вартості (включно з вартістю експлуатації), невеликій вазі та розмірам, відсутності потреби в пальному та елементах безпеки. У розвинутих країнах сучасного світу велосипеди набувають популярності завдяки спортивному навантаженню та екологічній чистоті. [1]

Прийнято вважати, що рік винаходу велосипеда – 1817, коли німецький барон Карл Дрез створив прототип сучасних «велосипедів для ходьби», які набули популярності серед дітей віком до 5 років. Цей транспортний засіб не мав педалей, а у рух його треба було приводити відштовхуючись ногами від землі.

Перша зміна у конструкції винаходу відбулась у 1839 році, коли коваль Крікпатрік Макміллан додав педалі та повноцінне сидло. Педалі були з'єднані з заднім колесом металевими шатунами, схожими за принципом, як на паровозах колеса об'єднані між собою зачіпним дишелем (рисунок 1.1):



Рисунок 1.1 – Крікпатрік Макміллан разом зі своїм прототипом велосипеда

У певний момент, провідною країною у сфері розвитку велосипедів стала Франція. У цей період, а саме у 1864 році брати Олів'є запустили у виробництво прототипи Макміллана і з'явився термін «velocipede», яке складається з із латинських «velox» (швидкий) і «pes» (стопа), а вже у 1867 році англієць Купер розробив систему спиць для велосипедного колеса.

Вже через 11 років також англійський інженер Лоусон додав ланцюгову передачу крутного моменту. Але останнім елементом, який відрізняє це чудо інженерії від сучасних велосипедів стало винайдення у 1888 році шотландцем Джоном Бойд Данлопом надувних шин з каучуку. Від тоді популярність велосипеда фактично у тому вигляді яким ми його знаємо сьогодні зросла у багато разів і він почав ширитись світом захоплюючи все більше і більше шанувальників на свою користь.

З часом, люди почали використовувати велосипеди у побуті і це переставало бути ексклюзивом. Це призвело до популяризації і, як результат, появи велоперегонів. На рисунку 1.2 представлений перший у світі переможець «Тур де Франс», однієї з трьох найпопулярніших велоперегонів у світі, разом зі своїм велосипедом.

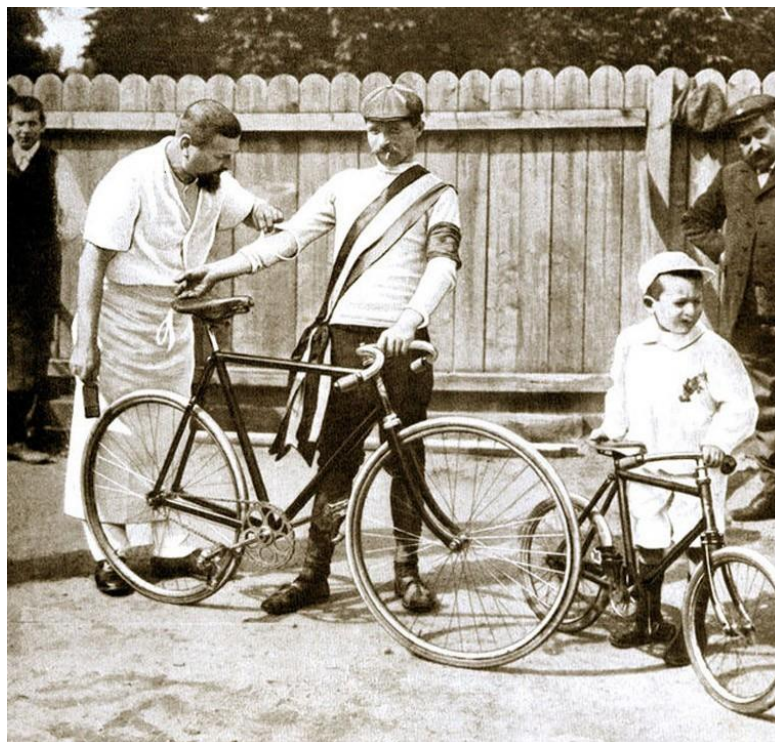


Рисунок 1.2 – Перший у світі переможець Тур де Франс Моріс Гарен. 1903р

У 2005 році за підсумками опитування громадської думки Великої Британії велосипед названо найвизначнішим технічним винаходом від 1800 року. За нього проголосувало більше опитаних, ніж за інші винаходи разом узяті.

В період з 1950 до 2007 року виробництво велосипедів зросло в чотири рази, за даними Інституту політики Землі — американської організації із захисту навколишнього середовища, за цей же період виробництво автомобілів збільшилося тільки у вдвічі. Причиною зростання вважають ціни на паливо і транспортні затори в містах, і ця тенденція зберігається.

1.2 Розвиток електровелосипедів

Перші спроби створити саме електричний велосипед були зроблені ще в кінці 19 століття. У 1895 році Огден Болтон-молодший подав патент у США на велосипед з електродвигуном, розміщеним у задньому колесі (рисунок 1.3). Цей ранній проект мав шість батарей і міг виробляти до 100 ампер струму, але мав обмежений радіус дії і низьку ефективність.

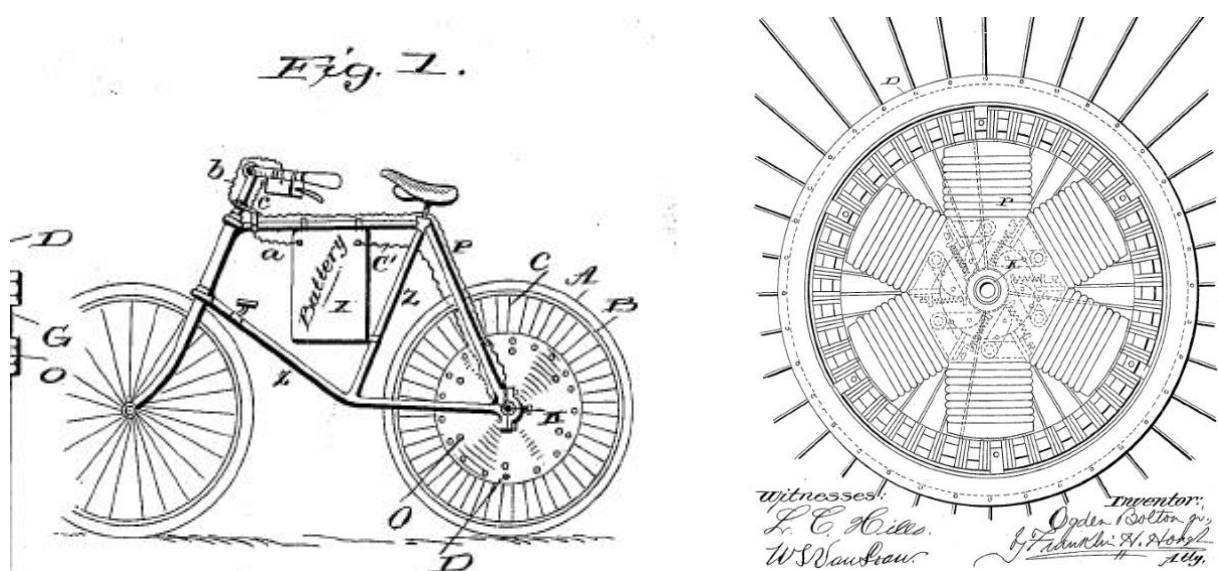


Рисунок 1.3 – Приблизний вигляд першого в світі запатентованого велосипеду з електродвигуном.

Цей велосипед не мав передач, а двигун міг споживати до сотні ампер при батареї з напругою десять вольт. На диву, вже тоді перший зразок сучасного «мотор-колеса» був захищений від бруду і пилу металевими пластинами. Електродвигун складався з шести електромагнітів, які обертали колесо навколо своєї осі. До кожної катушки був прикріплений механізм, що захищає від прокручування колеса у зворотній бік.

Через два роки, у 1897 році, Осія В. Ліббі з Бостона виготовив електричний велосипед із двома батареями, що приводився у рух двома двигунами (рисунок 1.4). Двигун встановлений на ступиці педального блоку. Вони були створені з декількох центральних магнітів, навколо яких було два барабани підковоподібних магнітів. Рух забезпечувався завдяки чергуванню полюсів магнітів. Пізніше ця модель була доопрацьована і копіювалася до 1990-х років у різних варіаціях.

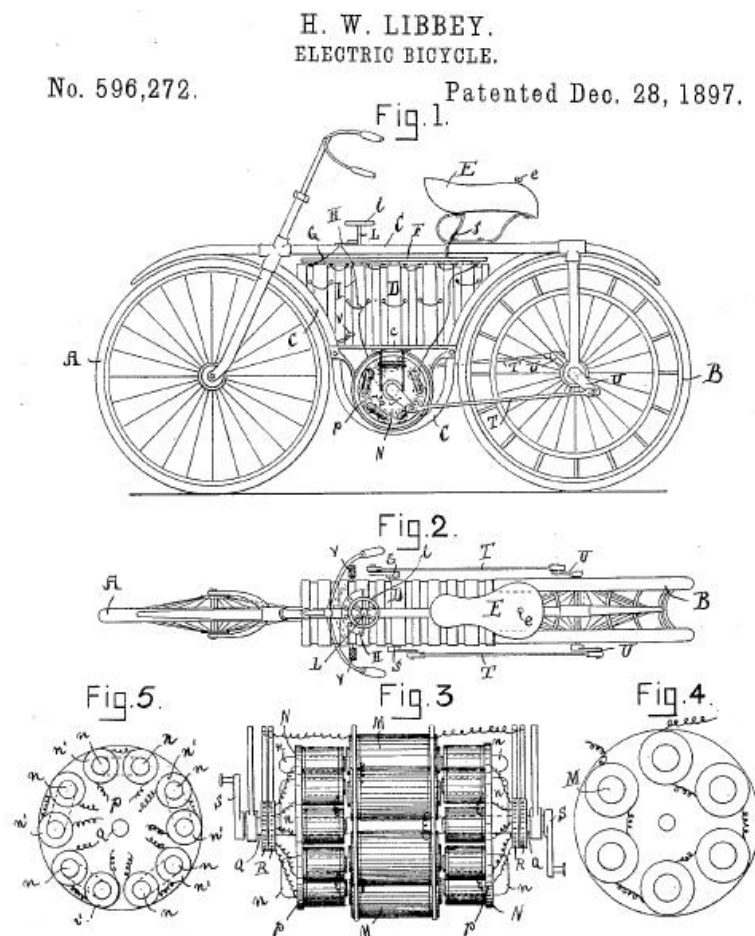


Рисунок 1.4 – Приклад велосипеда з «двома електродвигунами» за патентом Осії В. Ліббі

Принцип дії цієї конструкції лежить в основі всіх сучасних «моторколес» з прямим приводом (без планетарного редуктора в середині «моторколеса»).

У 1946 році Джессі Д. Такер отримав патент на двигун із внутрішніми зубчастими передачами та муфтою вільного ходу. Муфта вільного ходу дозволяла обертатися колесу на холостому ходу, тобто. без обертання педалей. Може, це було не першим винаходом такого типу, але Джессі Такер отримав патент на одну з найважливіших функцій електричного велосипеда - можливість обертання педалей, як під час роботи двигуна, так і за її відсутності. Створення муфти вільного ходу уможливило появу електровелосипедів, керованих акселератором.

Цей принцип конструкції (рисунок. 1.5) і сьогодні використовується в редукторних "мотор колесах", забезпечуючи приводу невеликі габарити та гарний обертаючий момент. [2]

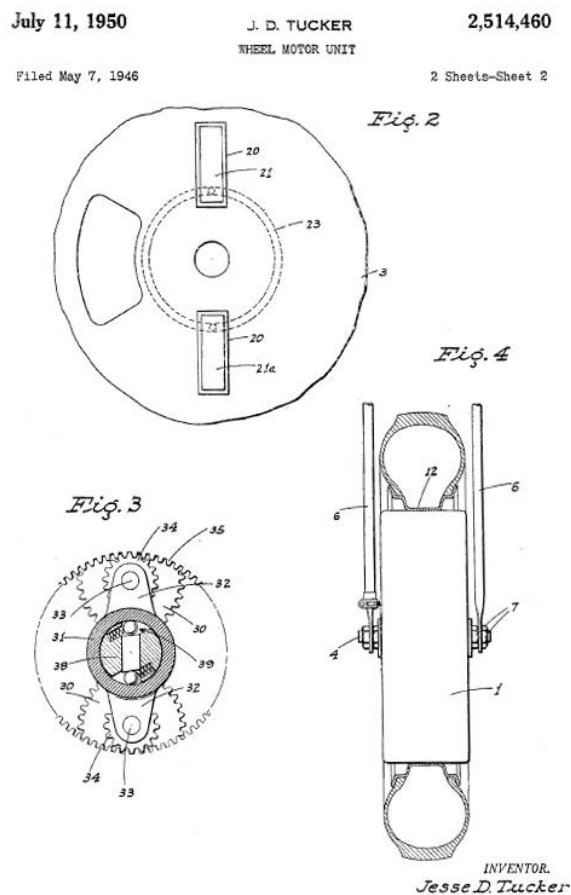


Рисунок 1.5 – Зображення прототипа усіх редукторних «мотор колес»

2000-ті роки ознаменувалися зростанням популярності так званих електронних наборів або комплектів для переобладнання велосипедів на електротягу. Комплекти складаються з двигуна колеса, контролера, рукоятки акселератора та/або системи pedal-assist, а в найбільш повних комплектаціях - бортового комп'ютера. Так як вартість серійних моделей електровелосипедів становила близько \$2500 і вище, не кожен міг собі дозволити купити його. Набагато дешевше було переобладнати вже наявний велосипед, а ті хто не мають велосипеда - купували недорогі моделі та обладнали їх "мотор колесами", або ланцюговими електродвигунами. Завдяки попиту на окремі запчастини до електровелосипеда, з'явилися так звані «conversion kit» (рисунок 1.6) - набори для перетворення. Здебільшого, такі набори виготовлялись у Китаї, але з 2008 року ними зайнялися європейські та американські компанії.



Зображення 1.6 – Один з варіантів «conversion kit»

Тож з усього переліченого вище, можемо зробити висновок що тема електротранспорту і електровелосипеда як частини цієї галузі як ніколи набуває актуальності з кожним днем. Це видно з графіку популярності запитів у Google (рисунок 1.7), де починаючи із 2004 року (раніше данні не збирались), популярність запитів по темі «Електровелосипед» з кожним роком зростають, не дивлячись на криву схожу до синусоїди (оскільки велосипед – сезонний вид транспорту і взимку або у холодні пори року кількість активних користувачів велосипедами в загальному зменшується, відповідно і графік запитів так само).

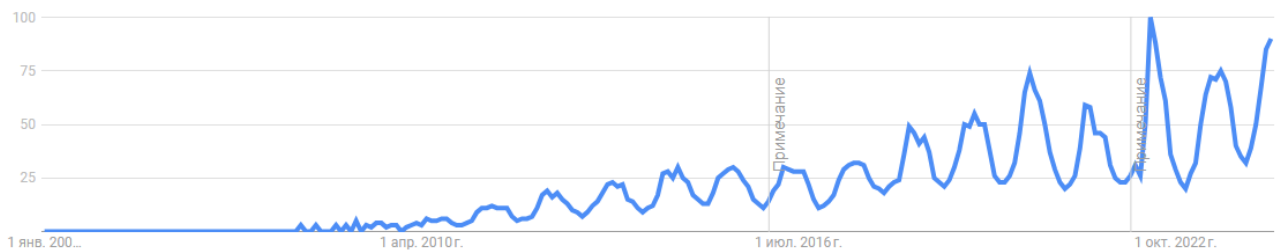


Рисунок 1.7 – Графік популярності запитів по темі «Електровелосипед», де 0 – найменш популярна тема, 100 – найбільш популярна тема.

Останніми роками сектор мобільності переживає революцію, яка також призвела до всесвітнього поширення легких електричних транспортних засобів, таких як електричні скутери та велосипеди. Зростаюча громадська стурбованість екологічними проблемами ще більше підживлює цю революцію. Електровелосипеди — це нова тенденція, яка відповідає потребам різних водіїв. Насправді вони пропонують розширений радіус дії та легкість використання, дозволяючи водіям подорожувати міськими центрами, а також здійснювати більш тривалі поїздки. Електровелосипеди надійні, легкі в їзді, доступні за ціною, і вони допомагають людям жити та подорожувати трохи екологічніше, приносячи велику користь для їх здоров'я. Багато компаній (таких як Brose, Bafang, Bosch і Shimano) розробили потужні двигуни для електровелосипедів. [3]

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТИПІВ КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ ЕЛЕКТРОВЕЛОСИПЕДІВ

2.1 Основні компоненти електровелосипеду

Електровелосипед — це велосипед, оснащений електричним двигуном, який допомагає під час педалювання або навіть повністю замінює його. Основними частинами електровелосипеда є рама, електродвигун, батарея, контролер, дисплей, датчики, зарядний пристрій, гальмівна система, трансмісія та колеса. Оскільки у цій роботі ми розглядаємо електровелосипед з точки зору електронного пристрою, тому раму, гальмівну систему, колеса та інші технічні частини ми розглядати не будемо, а детальніше звернемо увагу на електродвигун, тип батареї і найголовніше – контролер.

На сьогоднішній день існує безліч варіантів реалізації електровелосипеда. Оскільки усі з них мають схожі складові, головна відмінність полягає у принципі передачі обертаючого моменту - сили, яка змушує об'єкт обертатися навколо осі. У контексті електровелосипеда обертаючий момент визначає, наскільки сильно двигун може «штовхати» велосипед вперед.

Щоб детальніше зрозуміти принцип роботи електровелосипеда, треба розглянути структурна схему основних компонентів електровелосипеду. Структурна схема основних компонентів електровелосипеду приведена на рисунку 2.1.

Відповідно до структурної схеми, маємо наступні ключові елементи електровелосипеду:

- батарея, на даний момент найбільш популярними є низьковольтні літій-іонні акумулятори;
- силова частина, яка являє собою перетворювач живлення, що з'єднує акумулятор з двигуном, регулюючи подачу струму;
- контролер, який керує перемиканням на основі робочого циклу,

відповідно до вимог користувача та напруги акумулятора;

– електродвигун.

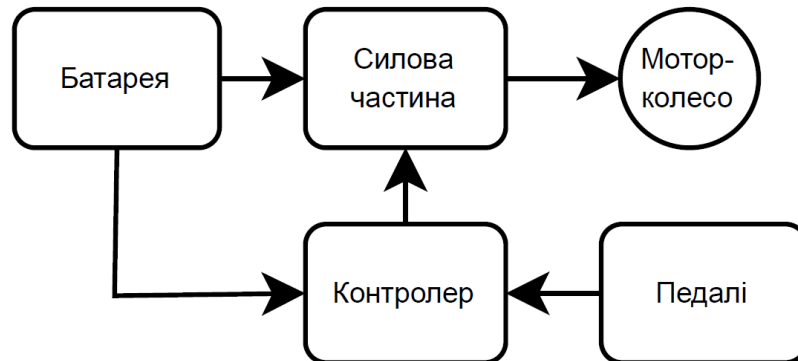


Рисунок 2.1 – Структурна схема основних компонентів електровелосипеду

Окрім класифікації типу допомоги у педалюванні, електровелосипеди можна класифікувати на основі типу двигуна, вузла двигуна (редуктор, прямопривідне, колекторне), та розташування двигуна (рисунок 2.2):

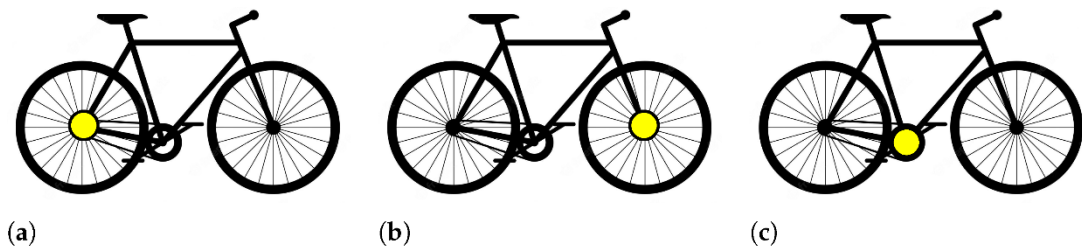


Рисунок 2.2 – Розташування електродвигуна.

а – двигун заднього колеса; б – двигун переднього колеса; с – двигун середнього приводу.

Двигуни втулки переднього колеса зручні в обслуговуванні, оскільки їх можна легко встановлювати та знімати, і це створює кращий баланс ваги у велосипеді щодо двигуна заднього колеса. Однак деякі недоліки такої конфігурації — це можливе пробуксовування передніх коліс, труднощі з керуванням і керуванням електровелосипедом і, як правило, нижча потужність, ніж у двигуна втулки заднього колеса.

На відміну від двигуна передньої втулки, двигун задньої втулки,

здається, не спричиняє прослизання колеса, оскільки його вага розподіляється на задню частину електровелосипеда. Однак розміщення двигуна на втулці заднього колеса спричиняє дисбаланс між задньою та передньою частинами велосипеда.

Двигун середнього приводу розташований у низькому та центральному положенні електровелосипеда, створюючи кращий баланс ваги, ніж двигуни втулки передніх і задніх коліс. Порівняно з двигунами втулки такої ж потужності, двигуни середнього приводу, як правило, менші та можуть бути вбудовані безпосередньо в раму велосипеда. Крім того, двигуни середнього приводу мають кращі характеристики при підйомі на пагорб, ніж двигуни втулки з аналогічною потужністю, навіть незважаючи на те, що для їх інтеграції потрібні спеціально розроблені рами, і вони зазвичай дорожчі. [3]

2.2 Огляд електродвигунів які застосовуються для електровелосипедів

Основою рушійної сили є електродвигун. На сьогоднішній день, варіантів електродвигунів існує безліч. Ось деякі з них:

- 1) асинхронні двигуни;
- 2) синхронні двигуни;
- 3) двигуни постійного струму;
 - a) щіткові;
 - b) безщіткові;
- 4) крокові двигуни.

Асинхронні двигуни, також відомі як індукційні двигуни. Вони поділяються на однофазні та трифазні двигуни. Асинхронні двигуни широко використовуються в промислових та побутових пристроях завдяки їх простоті, надійності та відносно низькій вартості. Основні компоненти асинхронного двигуна включають статор і ротор. Статор – це нерухома частина двигуна, яка містить обмотки, підключені до джерела змінного струму. Ротор – це обертаюча частина двигуна, яка розташована всередині статора і відділена від

нього повітряним зазором. Коли змінний струм проходить через обмотки статора, він створює обертове магнітне поле. Це магнітне поле обертається зі швидкістю, визначеною частотою змінного струму та кількістю полюсів статора. Швидкість обертання цього поля називається синхронною швидкістю.

Синхронний двигун є одним з видів електродвигунів, який працює на принципі створення обертового магнітного поля, яке синхронізується зі швидкістю обертання ротора. Цей тип двигуна має кілька ключових компонентів: статор, ротор і, на відміну від асинхронного, ще й збуджувач.

Статор синхронного двигуна складається з обмоток, підключених до джерела змінного струму. Коли через обмотки статора проходить змінний струм, він створює обертове магнітне поле. Це поле обертається з постійною швидкістю, яка визначається частотою змінного струму та кількістю полюсів обмоток статора. Швидкість цього обертання називається синхронною швидкістю. Ротор синхронного двигуна може бути різних типів, але найчастіше він містить постійні магніти або обмотки, через які проходить постійний струм для створення власного магнітного поля. Якщо ротор містить обмотки, струм до них подається через ковзні контакти або безконтактні способи передачі енергії.

Основний принцип роботи синхронного двигуна полягає в тому, що ротор, створюючи постійне магнітне поле, взаємодіє з обертовим магнітним полем статора. Ця взаємодія призводить до виникнення обертаючого моменту, що змушує ротор обертатися зі швидкістю, рівною швидкості обертання магнітного поля статора. Це означає, що синхронний двигун обертається точно з частотою живлення і не має ковзання, яке характерне для асинхронних двигунів. Синхронні двигуни знаходять широке застосування в промисловості, особливо в тих випадках, коли потрібна постійна швидкість і висока ефективність. Вони використовуються в генераторах змінного струму, які виробляють електроенергію на електростанціях, у великих компресорах, насосах, а також в електроприводах, де важлива точність і стабільність

швидкості.

Ключова відмінність синхронного і асинхронного двигуна є те, що у асинхронному електродвигуні ротор (рисунок 2.3) починає обертатися завдяки індукційним струмам які з'являються у наслідок подачі трьохфазної напруги на обмотки, здвинуті між собою на 120° , але ротор ніколи не досягне швидкості обертів такої ж, як і швидкість обертів ЕРС у статорі, через це його і називають асинхронним.

У синхронному електродвигуні додатково заживлюють ротор, створюючи з його обмоток постійний магніт, котрий при обертанні індукції у статорі тягне за собою ротор (рисунок 2.3).

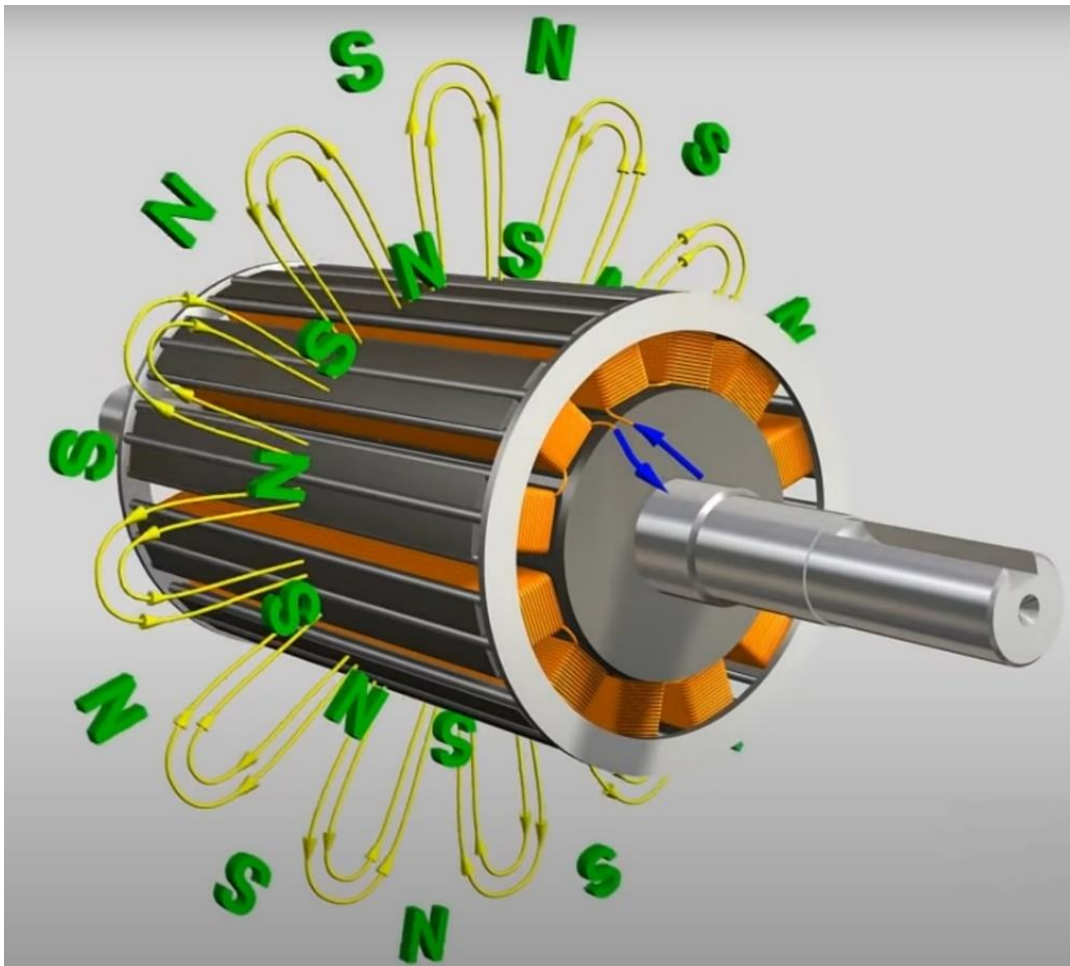


Рисунок 2.3 – Ротор синхронного електродвигуна

Обидва ці двигуни прекрасно підходять у випадках, коли треба зберігати однакову швидкість обертів, незалежно від навантаження.

Двигуни постійного струму (DC) є важливим типом електродвигунів, які використовують постійний струм для перетворення електричної енергії в механічну. Вони мають декілька ключових компонентів: статор, ротор (якір), щітки і комутатор. Статор двигуна постійного струму складається з постійних магнітів або електромагнітів, що створюють постійне магнітне поле. Ротор, або якір, містить обмотки, через які проходить електричний струм, і знаходиться всередині статора. Щітки та комутатор забезпечують передачу електричного струму від зовнішнього джерела до обмоток ротора.

Принцип роботи двигуна постійного струму (принцип роботи якого представлено на рисунку 2.4) полягає в наступному. Коли струм проходить через обмотки ротора, в них створюється магнітне поле, яке взаємодіє з магнітним полем статора. В результаті цієї взаємодії виникає обертаючий момент, який змушує ротор обертатися. Комутатор, що складається з сегментів, з'єднаних з обмотками ротора, забезпечує зміну напрямку струму в обмотках кожного разу, коли ротор обертається на 180 градусів. Це дозволяє підтримувати постійний напрямок обертаючого моменту і безперервний рух ротора.

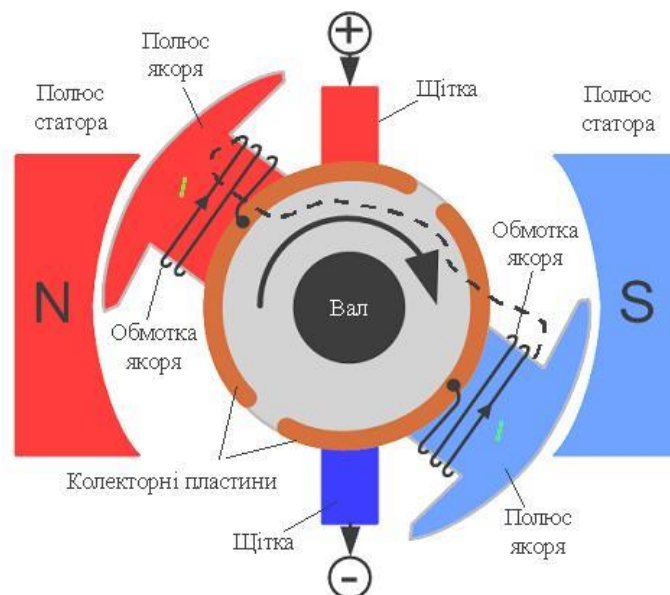


Рисунок 2.4 – Представлення принципу роботи щіткового електродвигуна постійного струму.

Безщіткові двигуни постійного струму (BLDC) не мають щіток і комутатора. Замість цього вони використовують електронні комутатори для керування струмом в обмотках статора, створюючи обертове магнітне поле, яке взаємодіє з постійними магнітами на роторі. Безщіткові двигуни мають значно вищу ефективність, довговічність і менший рівень шуму порівняно зі щітковими двигунами. Вони широко застосовуються в комп'ютерних вентиляторах, електромобілях, дронах, побутовій техніці і високоточних механізмах.

Основними перевагами двигунів постійного струму є простота керування швидкістю та моментом обертання, висока стартова потужність і можливість швидкої зміни напрямку обертання. Однак, недоліками є знос щіток і комутатора (у щіткових двигунах), а також складність і вища вартість електронних компонентів у безщіткових двигунах.

Крокові двигуни (приблизний принцип роботи представлено на рисунку 2.5) є спеціалізованими електродвигунами, які перетворюють цифрові імпульси в точні механічні рухи. Вони відрізняються від інших типів двигунів тим, що обертаються на певний кут з кожним вхідним імпульсом, що дозволяє контролювати їх положення з високою точністю.

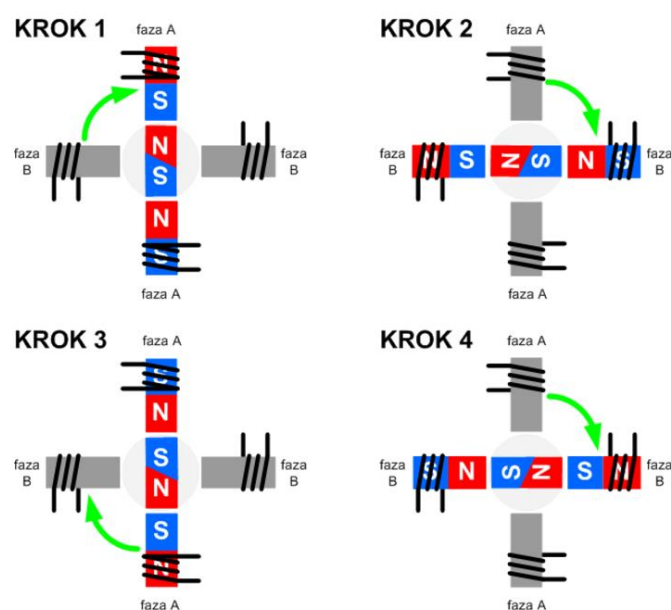


Рисунок 2.5– Представлення принципу роботи крокового електродвигуна.

Принцип роботи крокового двигуна полягає в послідовному включенні обмоток статора, що створює обертове магнітне поле, яке "тягне" ротор за собою. Кожен імпульс струму перемикає обмотки, створюючи нове магнітне поле і змушуючи ротор обертатися на певний кут, який називається кроком. Розмір кроку визначається конструкцією двигуна і може становити від кількох градусів до часток градуса. Крокові двигуни мають ряд переваг, таких як висока точність позиціонування, повторюваність і простота управління. Вони здатні точно контролювати кутове положення, швидкість і прискорення без необхідності в зворотному зв'язку, що спрощує їх використання в системах управління. Ці двигуни широко застосовуються в різних областях, включаючи автоматизацію виробництва, робототехніку, медичні пристрої, 3D-принтери, верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ) і багато інших застосувань, де потрібна висока точність і контрольованість руху. Недоліками крокових двигунів є обмежена швидкість і момент обертання, а також можливість втрати кроків при перевищенні навантаження або неправильному керуванні. Крім того, вони можуть споживати більше енергії і нагріватися при тривалій роботі на високих швидкостях.

Розглянуті основні типи електродвигунів, такі як асинхронні, синхронні, двигуни постійного струму та крокові двигуни, мають свої специфічні переваги та недоліки. Асинхронні двигуни відзначаються простотою конструкції та надійністю, що робить їх популярними в промисловості. Синхронні двигуни забезпечують високу точність роботи та стабільність швидкості, що є критичним для деяких спеціалізованих застосувань. Двигуни постійного струму характеризуються високою ефективністю та простотою керування швидкістю, що робить їх ідеальними для використання в системах, де необхідне точне регулювання швидкості та моменту. Крокові двигуни, завдяки своїй здатності до точного позиціонування, широко застосовуються в автоматизації та робототехніці.

2.3 Типи акумуляторів, що застосовуються для електровелосипедів

Акумулятори є ключовим компонентом електровелосипедів, оскільки вони забезпечують електроенергію для приводу. Основні види акумуляторів, які використовуються для електровелосипедів, включають свинцево-кислотні, нікель-металгідридні та літій-іонні акумулятори.

Свинцево-кислотні акумулятори є одними з найстаріших та найдешевших варіантів. Вони використовуються в автомобільній промисловості для запуску двигунів та живлення електричних систем завдяки їхній надійності та низькій вартості. В системах безперебійного живлення (UPS) вони забезпечують резервне живлення для серверів та медичного обладнання. В телекомунікаційних мережах забезпечують резервне живлення базових станцій. Свинцево-кислотні акумулятори обирають за їх економічність, простоту обслуговування та надійність, хоча вони важкі, мають обмежений життєвий цикл та екологічні проблеми при утилізації.

Нікель-металгідридні акумулятори є вдосконаленою версією нікель-кадмієвих акумуляторів і мають кращу ємність та меншу токсичність. Вони легші і компактніші, ніж свинцево-кислотні акумулятори, але все ж не настільки ефективні та довговічні, як літій-іонні акумулятори також схильні до саморозрядки, що може зменшити їх ефективність під час тривалого зберігання. Вони використовуються в різних галузях завдяки їхній більшій ємності та екологічності порівняно з нікель-кадмієвими акумуляторами. У гібридних автомобілях вони використовуються для живлення електричних двигунів завдяки їхній високій енергоемності та надійності. В медичних пристроях, таких як дефібрилятори та медичні насоси, ці акумулятори забезпечують стабільне живлення. Нікель-металгідридні акумулятори обирають за їх високу енергоемність, тривалий життєвий цикл і екологічну безпеку, хоча вони схильні до саморозрядки та менш ефективні при низьких температурах порівняно з літій-іонними акумуляторами.

Літій-іонні акумулятори є найсучаснішими і найбільш підходящими для електровелосипедів завдяки їхнім численним перевагам. Вони мають високу енергоемність, що дозволяє забезпечити більший запас ходу на одному заряді.

Літій-іонні акумулятори легші і компактніші, що сприяє покращенню маневреності та зручності електровелосипеда. Вони мають тривалий життєвий цикл і не потребують складного обслуговування. Крім того, літій-іонні акумулятори мають низький рівень саморозрядки, що забезпечує стабільну продуктивність навіть після тривалого зберігання.

З огляду на всі ці фактори, літій-іонні акумулятори є найбільш підходящими для електровелосипедів. Вони забезпечують оптимальне поєднання ваги, ємності, довговічності та зручності використання, що робить їх ідеальним вибором для сучасних електровелосипедів. Хоча їхня вартість може бути вищою порівняно з іншими типами акумуляторів, переваги літій-іонних акумуляторів роблять їх інвестицією, яка виправдана для забезпечення надійної та ефективної роботи електровелосипеда.

На сьогоднішній день існує три найпоширеніших типи літій-іонних акумуляторів:

- літій-іонні (Li-ion) акумулятори;
- літій-залізо-фосфатні (LiFePO₄) акумулятори;
- літій-полімерні (Li-Po) акумулятори;

Літій-іонний акумулятор (рис. 2.6) складається з кількох основних компонентів: анода, катода, електроліту та сепаратора. Анод у літій-іонному акумуляторі зазвичай виготовляється з графіту.

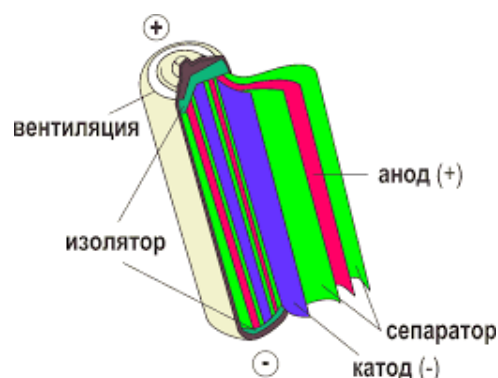


Рисунок 2.6 – Конструкція літій-іонних акумуляторів

Під час зарядки іони літію вбудовуються в графітову структуру (процес, відомий як інтеркаляція). Графіт є популярним вибором завдяки своїй стабільності, високій провідності і здатності зберігати значну кількість літію.

Електроліт, що забезпечує рух іонів літію між анодом і катодом, зазвичай є рідким і складається з літєвих солей, розчинених в органічному розчиннику. Сепаратор служить для розділення анода і катода, запобігаючи короткому замиканню, але дозволяє іонам літію проходити між електродами.

Катод у літій-іонному акумуляторі є одним з найважливіших компонентів, оскільки він визначає значну частину його енергоємності, безпеки та довговічності. Катод виготовляється з літєвмісних матеріалів, і саме під час розряду акумулятора він приймає іони літію з анода. Існує кілька типів матеріалів, які використовуються для виготовлення катодів, кожен з яких має свої унікальні властивості і застосування. Найпоширенішим акумулятором у побутовій електроніці є акумулятор формату 18650 (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Акумулятор формату 18650.

Електроліт у літій-іонних акумуляторах є іонопровідною речовиною, що дозволяє іонам літію переміщуватися між анодом і катодом під час зарядки та розрядки. Зазвичай використовується рідкий електроліт, який складається з

літієвих солей (наприклад, літій-гексафлуорофосфат - LiPF_6) розчинених в органічних розчинниках (наприклад, етиленкарбонат, диметилкарбонат).

Сепаратор є важливим компонентом, що розділяє анод і катод, запобігаючи їх безпосередньому контакту і тим самим уникненню короткого замикання. Водночас він дозволяє іонам літію проходити через нього. Сепаратори зазвичай виготовляються з мікропористих полімерних матеріалів, таких як поліетилен (PE) або поліпропілен (PP).

Під час заряду літій-іонного акумулятора, іони літію переміщуються від катода до анода через електроліт. При цьому електрони рухаються по зовнішньому ланцюгу від катода до анода, створюючи електричний струм. Під час розряду процес відбувається в зворотному напрямку: іони літію переміщуються від анода до катода, а електрони - через зовнішній ланцюг від анода до катода, забезпечуючи живлення підключеного пристрою.

Літій-залізо-фосфатні акумулятори (LiFePO_4 або LFP) є різновидом літій-іонних акумуляторів, що використовують літій-залізо-фосфат як матеріал катода. Вони набули популярності завдяки своїм унікальним властивостям, що роблять їх привабливими для різних застосувань. З переваг - мають високу термічну та хімічну стабільність, що зменшує ризик займання або вибуху навіть у разі пошкодження або перегріву, можуть витримувати більшу кількість циклів зарядки-розрядки (понад 2000 циклів) без значної втрати ємності, що робить їх придатними для застосувань, де важлива довговічність, таких як системи зберігання енергії. Матеріали, використовувані в LFP-акумуляторах, менш токсичні та більш екологічно безпечні порівняно з тими, що містять кобальт, а значить і переробка таких акумуляторів є менш складною і шкідливою для довкілля. Також акумулятори можуть забезпечувати високі струми розряду і відносно стабільну напругу під час розряду, що дозволяє забезпечувати постійну продуктивність пристроїв, і є важливим для застосувань, що потребують швидкої подачі великих обсягів енергії, наприклад, у електроінструментах або електромобілях.

З недоліків це те що такі акумулятори мають нижчу енергоємність

порівняно з іншими літій-іонними акумуляторами, такими як літій-кобальт оксидні або NMC (нікель-марганець-кобальт оксидні). Це означає, що вони зберігають менше енергії на одиницю ваги або об'єму і може обмежувати їх використання в пристроях, де критично важлива максимальна енергоємність при обмеженому обсязі і вазі, наприклад, у смартфонах або ультра тонких ноутбуках. Також цей тип акумуляторів хоч і має триваліший термін служби, їхня початкова вартість є вищою на одиницю ємності порівняно з іншими типами літій-іонних акумуляторів. Це може робити їх менш економічно вигідними для застосувань, де вартість є критичною. Ще літій-залізо-фосфатні акумулятори можуть мати знижену продуктивність при низьких температурах, що може обмежити їх використання в умовах холодного клімату або для зовнішніх пристроїв, які працюють на відкритому повітрі.

До літій-іонних акумуляторів, окрім літій-залізо-фосфатних, відносять і літій-полімерні (рис. 2.8), вони використовують полімерний електроліт замість рідкого, який може бути у вигляді сухого або гелеобразного полімеру.



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд літій-полімерного акумулятору

Цей полімерний електроліт дозволяє виготовляти акумулятори у різних формах і розмірах, надаючи їм велику гнучкість у дизайні, що робить їх ідеальними для пристроїв з обмеженим простором або нестандартними формами. Це особливо важливо для сучасних смартфонів, планшетів і ультратонких ноутбуків. Також з переваг акумуляторів, основаних на літій-полімерній технології, це те що полімерний електроліт дозволяє знизити вагу

акумулятора, що є важливим для портативних електронних пристроїв і моделей з дистанційним управлінням. Так само вони і ліпші у плані безпеки - хоча літій-полімерні акумулятори можуть бути чутливими до механічних пошкоджень і перегріву, використання полімерного електроліту знижує ризик витоку електроліту, що робить їх безпечнішими порівняно з традиційними літій-іонними акумуляторами.

Однак, де є переваги, там є і недоліки. Виробництво літій-полімерних акумуляторів може бути дорожчим порівняно з традиційними літій-іонними акумуляторами через складніший процес виготовлення полімерного електроліту і специфічні вимоги до матеріалів. Також до недоліків відносять і енергоємність – співвідношення заряду до ваги акумулятора нижче ніж у класичних літій-іонних акумуляторів.

Літій-полімерні акумулятори набули високу популярність серед виробників завдяки саме гнучкості, легкості і більшій безпеці, порівняно з літійовими акумуляторами у класичному виконанні. Їх активно використовують у смартфонах, планшетах, надтонких ультрабуків. Також, дуже часто можна їх зустріти у дронах або моделях різноманітної техніки на радіокеруванні, де вага має вирішальне значення, бо від цього залежить час автономної роботи або запас ходу.

2.4 Огляд контролерів що використовуються

Головним елементом керування в усіх видах електротранспорту є контролер. Його функції можна поділити між декількома аналоговими мікросхемами, а можна зав'язати майже увесь функціонал на один мікроконтролер, забезпечивши цим економію такої системи, а також простоту і як наслідок, надійність. Далі розберемо недоліки і переваги кожного з варіантів.

Отже, в цілому, структура електровелосипеду з реалізацією на одному програмованому контролері має наступний вигляд (рис 2.9).



Рисунок 2.9 – Структурна схема реалізації електровелосипеда на одному програмованому контролері.

Як можна бачити зі схеми наведеної нижче, головну роль займає програмований контролер. У електровелосипеді контролер відіграє центральну роль у забезпеченні коректного функціонування електричної системи, забезпечуючи управління подачею електроенергії від акумулятора до електродвигуна, а також другорядні задачі – зчитування інформації з датчиків, її обробка та вивід на екран або систему індикації.

Головним чином керування мотор-колесом відбувається через контролер мотор-колеса, його можна реалізувати двома способами:

1. Через реле;
2. Через транзистори або спеціалізовані контролери;

Реалізація контролера мотор-колеса через реле можлива. Для цього можна підключити контролер на керуючі контакти реле, а ними вже перемикає силову частину. Спрощена схема підключення представлена на рисунку 2.10:

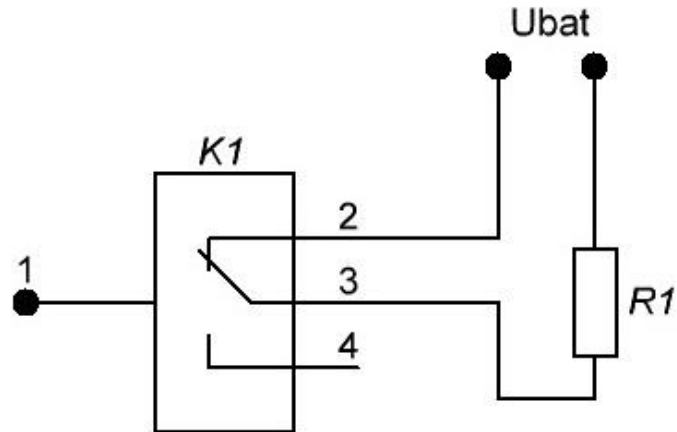


Рисунок 2.10 – Схема підключення контролера через реле, де: 1 – вхід керуючого сигналу з контролера; 2 - вхід силової частини з акумулятора; R1 – навантаження; Ubat – напруга батареї.

Керуючий сигнал подається з одного з виходів контролеру та замикає контакти 2 та 3 реле, на які зав'язаний мінусовий полюс з клем акумулятора. Струм при замиканні подається на R1 (навантаження), у ролі якого виступає мотор-колесо. Схема доволі проста та натомість, як було згадано вище, має свої недоліки. Серед них це невисока надійність реле як електронного елемента, а саме: низька стійкість до довготривалих вібрацій та інших впливів навколишнього середовища, зношування контактів при перемиканні та їх окислення. Проте найсерйозніший недолік це шанс того, що при перевантаженні, контакти реле можуть «прикипіти» один до одного і тоді ми зіштовхнемось із залипанням газу, що у випадку електротранспорту, як і транспорту в цілому, є недопустимим.

Інший спосіб підключення через транзистор (рис. 2.11)

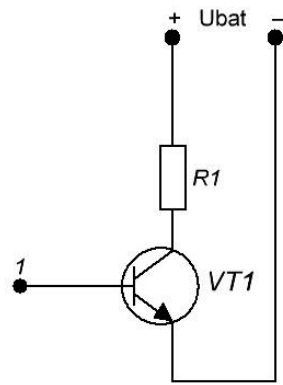


Рисунок 2.11 – Спрощена схема підключення навантаження (R1) до силового живлення через транзистор.

Вхід 1 підключається до контролеру керування. При логічній «1» на базі транзистора, струм від елементу живлення (в нашому випадку акумулятора) буде протікати через базу та емітер на мінусовий полюс. При цьому транзистор відкриється та струм зможе протікати через перехід колектор-емітер, відповідно і через навантаження. Але така схема так само має свої недоліки. Якщо не поставити обмежувач опір на вході транзистора, тоді струм не буде нічим обмежений, і це б вивело з ладу наш контролер.

Далі треба визначитись із контролером.

На сьогоднішній день існує три найпоширеніших платформи контролерів:

1. Arduino;
2. STM32;
3. ESP32;

Arduino — це платформа з відкритим вихідним кодом, яка складається з апаратної частини (плати мікроконтролера) та програмної частини (інтегроване середовище розробки, IDE), що використовується для створення електронних проектів. Вона популярна серед інженерів, дизайнерів, художників, хобі-ентузіастів та будь-кого, хто зацікавлений в інтерактивних об'єктах чи середовищах. Найчастіше використовуються мікроконтролери AVR від компанії Atmel, такі як ATmega328P (на платі Arduino Uno) та

АТmega2560 (на платі Arduino Mega), але також є плати з мікроконтролерами ARM (наприклад, Arduino Due) та інші. Найпоширенішим є версія Arduino Nano (рис. 2.12), її і розглянемо.

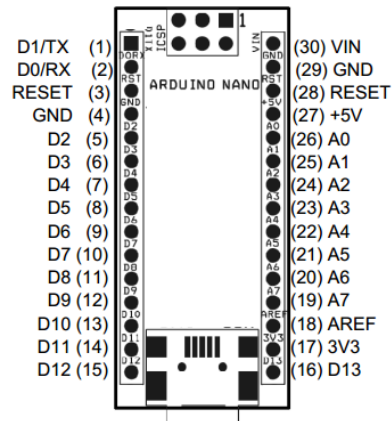


Рисунок 2.12 – Схематичне зображення плати Arduino Nano з підписаними контактами.

Плата з контролером має 14 цифрових виходи, 8 аналогових, 32 Кб флеш-пам'яті, 2 Кб оперативної пам'яті, частота процесора 16 МГц. Цей мікроконтролер може працювати з USB, UART, SPI та I2C інтерфейсами.

В цілому платформа Arduino в більшості випадків позиціонує себе як любительські мікроконтролери для домашніх не складних пристроїв та проєктів, тому що має дуже зручне і просте у використанні середовище розробки (IDE), яке підходить для початківців. Також це стосується і ціни, оскільки вартість одного контролера, станом на сьогоднішній день ледь перевищує 100 грн. Це доступні, прості у освоєнні та з широким вибором периферійних пристроїв платформа. Але є і певні обмеження. Перше і одне з головних з них це обмежена продуктивність: базові плати Arduino (наприклад, Arduino Uno) використовують 8-бітові мікроконтролери з обмеженою продуктивністю. Оскільки проєкт електровелосипеду вимагає обробки великої кількості даних і складних алгоритмів керування, знадобиться більш потужний мікроконтролер. Arduino може бути хорошим вибором для створення прототипу або навчального проєкту контролера електровелосипеду,

але не для комерційних рішень. [4]

Платформа контролерів STM32 є вищою ланкою по продуктивності ніж Arduino, це можна зрозуміти як по характеристикам, так і по підтримуваним інтерфейсам. Вони використовують 32-бітові ARM Cortex процесори, що забезпечують вищу продуктивність і більше можливостей. Велика кількість периферійних пристроїв, таких як АЦП, ЦАП, таймери, UART, SPI, I2C і багато інших інтерфейсів. Широкий асортимент мікроконтролерів для різних завдань і потреб дозволяють ліпше підібрати конкретний контролер під певні задачі, який буде відповідати заданим нормам потужності і енергоспоживання у конкретних ситуаціях. Більше оперативної пам'яті і флеш-пам'яті порівняно з Arduino також буде неодмінною перевагою для складних проектів.

Характеристики контролера STM32: ядро ARM 32-bit Cortex-M3 (32-біти), напруга живлення від 2,7В до 5В, максимальна тактова частота процесора 72 МГц, обсяг флеш-пам'яті 64 Кб, оперативної пам'яті 20 Кб, кількість виходів – 34, вже вбудовані два 12 бітні АЦП. [5]

В цілому, STM32 є дуже підходящою платформою для створення контролера електровелосипеда. Це сімейство мікроконтролерів від STMicroelectronics на базі ARM Cortex, яке пропонує високу продуктивність, розширені можливості та низьке енергоспоживання.

Третя платформа контролерів це ESP32. Короткі характеристики ESP32: напруга живлення 5 В, Wi-Fi стандартів 802.11 b/g/n (802.11n до 150 Мбит / с), двоядерний процесор з тактовою частотою від 80 до 240 МГц, інтерфейси SD, UART, SPI, SDIO, I²C, LED PWM, Motor PWM, I²S, I²C, IR GPIO, сенсорний датчик, ADC, DAC, LNA; має вбудовані датчики температури та датчики Холла, протокол Bluetooth v4.2.

Вона може бути ліпшим вибором для контролера електровелосипеда з кількох причин:

По-перше, ESP32 має вбудовані модулі Wi-Fi і Bluetooth, що надає значні переваги у проектуванні електровелосипеда з функціями бездротового зв'язку. Ці можливості дозволяють легко реалізувати функції дистанційного

моніторингу, налаштування параметрів та діагностики через смартфон або інші пристрої. Наприклад, можна буде відстежувати стан батареї, швидкість, місцезнаходження велосипеда та інші дані в реальному часі через мобільний додаток, що значно покращує користувацький досвід.

По-друге, ESP32 має високу продуктивність завдяки двоядерному процесору Tensilica Xtensa LX6 з тактовою частотою до 240 МГц. Це дозволяє обробляти складні алгоритми керування двигуном і обробку даних від численних датчиків без затримок. Крім того, ESP32 підтримує різні периферійні інтерфейси, такі як I2C, SPI, UART, PWM, ADC і DAC, що забезпечує гнучкість у підключенні різноманітних сенсорів та виконавчих механізмів.

По-третє, перевага цієї платформи над іншими це простота у використанні. Завдяки підтримці Arduino IDE, розробка на ESP32 стає доступною навіть для новачків. Arduino IDE пропонує зрозумілий інтерфейс та велику кількість бібліотек, що значно спрощує процес розробки та налагодження. [6]

2.5 Вибір електродвигуна та типу акумуляторної батареї для електровелосипеду

Щоб зрозуміти які параметри нам треба контролювати та відстежувати нашим контролером, треба визначитись з кінцевою будовою електровелосипеда, на якому буде стояти цей контролер. Оскільки загальна конструкція електровелосипеду багато у чому залежить від обраного типу електродвигуна та типу передачі обертаючого моменту на колеса, нижче наведені такі основні варіанти:

- каретковий;
- мотор-колесо;

У свою чергу, мотор-колесо поділяються на три основних типи:

- колекторний;

- безколекторний;
- редукторний.

Каретковий електродвигун у електровелосипеді є важливою складовою системи приводу, яка дозволяє забезпечити потужність і обертаючий момент для руху велосипеда за допомогою електромотора та передаточної системи. Основна роль кареткового електродвигуна полягає в тому, щоб конвертувати електричну енергію з батареї у механічну енергію, яка потім передається до колеса велосипеда для створення руху. Каретковий електродвигун зазвичай розміщується в рамі велосипеда, і він працює в парі з передаточною системою, що включає в себе зірки та ланцюг. Типовий каретковий електродвигун для електровелосипеда зазвичай є безколекторним (безщітковим) постійним електродвигуном (BLDC). Цей тип двигуна відрізняється високою ефективністю, малим рівнем шуму та відсутністю потреби в обслуговуванні, що робить його популярним вибором для електровелосипедів.

Однією з важливих характеристик кареткового електродвигуна є його потужність. Потужність електродвигуна повинна бути достатньою для забезпечення необхідної швидкості та крутного моменту для велосипеда та водія. Потужність вимірюється в ватах або кіловатах і зазвичай залежить від потреб користувача та умов використання.

Крім того, каретковий електродвигун може бути обладнаний системою управління, яка дозволяє регулювати швидкість та крутний момент в залежності від потреб користувача. Це може бути реалізовано за допомогою електронного регулятора швидкості та інших компонентів, які забезпечують точне керування роботою електродвигуна, у тому числі і контролера.

Перевагами кареткового електродвигуна є відсутність серйозних втручань у трансмісію велосипеда, а це означає що перемикання між швидкостями дозволить нам детальніше керувати швидкістю і споживанням електродвигуна, що, у свою чергу, позитивно вплине на економність і запас ходу кінцевого пристрою.

Є і певні недоліки – висока ціна у порівнянні з іншими типами

електродвигунів для електровелосипеда. Хоча і можна поставити меншу потужність за рахунок наявності цепної трансмісії та зекономити на цьому, це все одно не перекриє явної високої вартості кареткового електродвигуна для велосипеда. Ще недоліком є те, що такі системи зазвичай використовуються у серійних велосипедах, що означає звуження охоплення кінцевих користувачів та не таку високу популярність виробу. Яскравий приклад такої системи від компанії Bosch (рисунок 3.13).



Рисунок 2.13 – Приклад системи кареткового двигуна (також відомий як центральний мотор, "підвісний" мотор).

Далі буде описано три типи мотор-колів, з кожним з яких ми ознайомимось окремо.

Колекторний тип електродвигуна у електровелосипедах - це електричний двигун, який використовує комутатор (або колектор) і щітки для зміни напрямку струму в обмотках ротора під час його обертання. Принцип роботи колекторного електродвигуна базується на взаємодії електричного

струму та магнітного поля.

Цей тип електродвигунів, який широко використовувався у електровелосипедах, працює на основі взаємодії електричного струму та магнітного поля. Цей тип двигуна має статор і ротор. Статор створює постійне магнітне поле, яке взаємодіє з ротором. Ротор містить обмотки та колектор, який з'єднується з обмотками через щітки.

Принцип роботи колекторного електродвигуна полягає в тому, що струм, що протікає через обмотки ротора, створює магнітне поле, яке взаємодіє з магнітним полем статора. Це призводить до обертання ротора. Комутатор (або колектор) забезпечує зміну напрямку струму в обмотках ротора під час його обертання, що дозволяє ротору продовжувати обертатися в одному напрямку.

Щітки виступають як контактні вузли, які передають струм з джерела живлення на колектор, а також відповідають за комутацію струму в обмотках ротора. Цей процес комутації струму відбувається неперервно, що забезпечує стабільний рух ротора та, відповідно, руху електровелосипеда.

Хоча колекторні електродвигуни зараз менш поширені у електровелосипедах через їхні обмеження в швидкості, ефективності та надійності, вони все ще застосовуються в окремих випадках, де це виправдано вимогами проекту. Хоча колекторні електродвигуни були широко використовувані у минулому, вони зараз в основному замінені безколекторними (безщітковими) електродвигунами через свої обмеження в швидкості, ефективності та надійності. Тим не менш, вони все ще застосовуються в деяких додатках, включаючи електровелосипеди, якщо вони відповідають вимогам конкретного проекту. Приклад такого електродвигуна наведений на рисунку 2.14.



Рисунок 2.14 – Колекторний електродвигун з щіточною системою подачі напруги на обмотки.

Одним з основних недоліків колекторних електродвигунів є щітковий знос. Оскільки це є основним конструктивним елементом який слугує для живлення обмоток статора, то це великий недолік, оскільки заміна щіток та обслуговування колектора може бути потрібним частіше ніж у інших типах електродвигунів для електровелосипеда, що може збільшувати витрати та час утримання електровелосипеда, а значить і скоротити запас надійності кінцевого виробу.

Противагою колекторному електродвигуну виступає безколекторний, а з точки зору мотор-колеса це прямопривідне.

Прямопривідне мотор-колесо для електровелосипеда - це тип мотор-колеса, в якому електродвигун безпосередньо вбудований в втулку колеса без проміжного редуктора або передавальної системи. Цей дизайн забезпечує пряме перетворення енергії з мотора на рух колеса, що має деякі переваги та особливості. З конструктивних особливостей, а саме – відсутність будь-яких

рухомих об'єктів таких як шестерні, зірки та тощо, маємо прекрасну перевагу - високу надійність, порівняно з іншими типами мотор-колів. Оскільки принцип роботи такого колеса використовує схему синхронного електродвигуна, маємо і деякі особливості, які можна віднести як до переваг, так і недоліків. Ця особливість криється у принципі будови синхронного електродвигуна: оскільки у синхронному електродвигуні додатково заживлюють ротор, створюючи з його обмоток постійний магніт, котрий при обертанні індукції у статорі тягне за собою ротор, то ми стикаємось з таким явищем як рекуперація.

Рекуперація - це процес повернення або відновлення енергії, яка раніше була втрачена або використана. У контексті електричних пристроїв, таких як електровелосипеди, рекуперація зазвичай означає перетворення кінетичної енергії, яка втрачається під час гальмування або спуску, у електричну енергію. Ця електрична енергія потім використовується для заряджання батареї пристрою, що дозволяє подовжити тривалість роботи або поїздки на одному заряді.

Однак, та сама можливість є і недоліком, оскільки у випадку з прямопривідним мотор-колесом у такого електровелосипеду частково або повністю відсутній холостий хід. Під час холостого ходу електровелосипеду, мотор не надає жодної потужності, що дозволяє колесам обертатися вільно. Також не витрачається енергія на надання потужності, що дозволяє економити заряд батареї та підвищує тривалість поїздки на одному заряді і допомагає зберегти його знос, оскільки він не виконує жодної роботи. А оскільки прямопривідне мотор-колесо не має такої можливості, це є великим недоліком такої системи.

Отже, прямопривідне колесо має наступні переваги:

- проста конструкція яка не вимагає надто частих втручань для технічного обслуговування;
- низький рівень шуму порівняно з мотор-колесами які мають фізичні частини у вигляді зірок або шестерень;

- висока потужність яка може досягати 5000 Вт;
- наявність рекуперації і як висновок – підвищений ККД.

Але прямопривідне мотор-колесо має і недоліки:

- велика вага (зазвичай від 5 до 7 кг);
- великі габарити порівняно з іншими типами мотор-коліс;
- супротив обертанню педалей при відсутності живлення на електродвигуні (майже повна відсутність холостого ходу);
- висока вартість.

Зовсім по іншому працює редукторне мотор-колесо. Воно вирішує питання холостого ходу, оскільки має в собі перетворюючий елемент, від якого, власне і пішла назва – редуктор, який являє собою механічний пристрій, котрий використовується для зменшення швидкості обертання та збільшення крутного моменту між входом та на виході з нього. Основне призначення редуктора — забезпечити передачу обертального руху з одного валу на інший зі зміною частоти обертання та крутного моменту. Він складається з набору зубчастих коліс або інших механізмів передачі, які дозволяють виконувати ці функції. Структурне зображення внутрішньої будови приведено на рисунку 2.15.

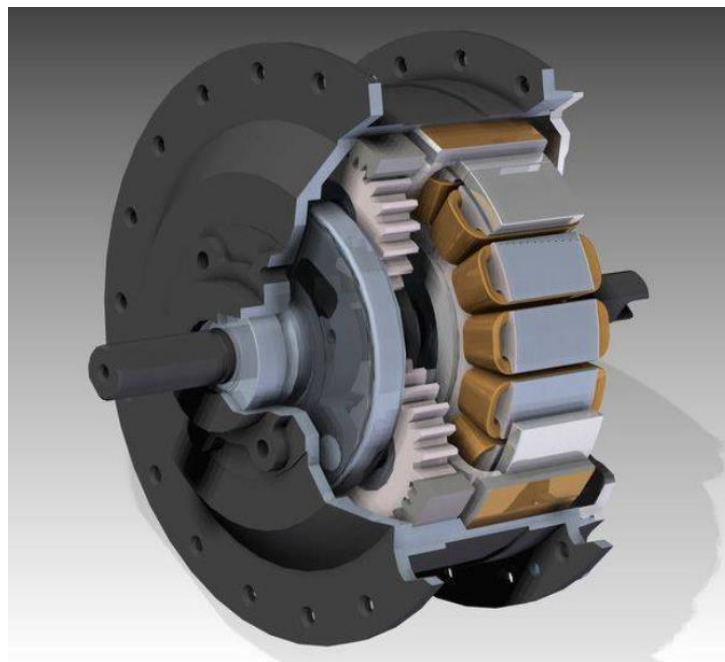


Рисунок 2.15 – Внутрішня будова редукторного колеса.

Основні переваги редукторного колеса включають підвищений крутний момент, що полегшує старт і прискорення електровелосипеда, особливо на підйомах або при перевезенні вантажів. Враховуючи те, що кінцевий пристрій може бути орієнтований на широкий обсяг користувачів, буде не зайвим мати хорошу тягову силу. Завдяки редукторній передачі, електровелосипед стає більш ефективним на низьких швидкостях, що робить його зручним для міських умов з частими зупинками та стартами. Редукторні системи можуть бути компактними, що дозволяє вбудовувати їх у колеса електровелосипедів без значного збільшення їх ваги та розмірів. Завдяки ефективнішому використанню енергії при нижчих швидкостях, редукторне колесо може сприяти тривалішій роботі акумулятора на одному заряді. Підвищений крутний момент і ефективність на низьких швидкостях покращують керованість електровелосипеда, роблячи його більш маневровим у міських умовах.

Однак редукторне колесо має також і деякі недоліки. Редукторні колеса мають складнішу конструкцію, що може ускладнювати їх обслуговування та ремонт. Використання редукторного колеса в електровелосипеді доцільне завдяки його здатності забезпечити високу ефективність і крутний момент на низьких швидкостях, що є важливим для міських поїздок і пересування в умовах частих зупинок, а це робить електровелосипед з редукторним колесом ідеальним варіантом для щоденних поїздок на роботу чи навчання в міських умовах, де маневреність і ефективність на низьких швидкостях мають критичне значення. Також обмеження по максимальній швидкості позитивно вплинуть на безпеку використання кінцевим пристроєм. Як відомо, навіть великі виробники (зокрема дві компанії-лідери у виробництві електротранспорту які у 2015 році об'єдналися в одну, яка тепер називається Segway-Ninebot) штучно обмежують максимальну швидкість до 25 км/г задля безпеки використання їх електросамокатами, хоча і відомі випадки «перепрошивки» програмної частини пристрою що прибирає ці обмеження і такі самокати показують швидкості близькі до 50 км/г, але це поза

стандартними інструкціями використання і вкрай не рекомендується виробником.

Отже, короткий перелік переваг і недоліків такої системи, починаючи з переваг:

- компактність та малі розміри мотор-коліс, обумовлені редуктором що має коефіцієнт передачі який відсікає необхідність у великій потужності електродвигуна, тому що завжди можна підібрати коефіцієнт передачі так, щоб електровелосипед мав хорошу швидкість з мотор-колесом невеликої потужності;
- економність, яка витікає з попереднього пункту. Маючи електродвигун на 350 Вт, велосипед буде розвивати необхідну швидкість за той самий час що і прямопривідне з потужністю приблизно 500 Вт;
- відсутність супротиву при холостому ході, що є також перевагою яка впливає і на економність у тому числі;
- висока потужність на низьких швидкостях, що робить його ідеальним для використання у міських умовах.

Проте, редукторне мотор-колесо не обділене і недоліками, а саме:

- відсутність рекуперації, а отже і відсутність можливості підзарядки під час звичайного кочення;
- збільшений шум роботи через наявність шестерень у конструкції;
- зменшений ресурс системи через ті самі шестерні;
- обмежена максимальна потужність у 500 Вт та, відповідно, швидкість.

І все ж, редукторні мотор-колеса використовуються у електросамокатах та багато у яких видах електротранспорту, тому, на мою думку, у електровелосипедах це буде так само найбільш підходящим варіантом.

Спочатку більшість комерційних легких електромобілів приводилися в дію від свинцево-кислотних акумуляторів, які мають низьку питому енергію (низьку щільність енергії) і низький зарядний струм, що призводить до малого

запасу ходу та тривалого часу заряджання. Тоді на ринок з'явилися нікель-метал-гідридні, а пізніше літій-іонні батареї, які перевершують свинцеві батареї за питомою енергією, яка є в п'ять разів вищою, і за часом заряджання, який є до трьох разів коротшим [4].

Окрім дуже високої питомої енергії, будь-який літій-іонний елемент має перевагу генерувати відносно високу напругу (3,7 В для літій-іонного елемента проти 1,2 В для нікель-метал-гідридного або нікель-кадмієвого). Це порівняно високе значення, яке допомагає зменшити кількість послідовно з'єднаних елементів для отримання необхідної напруги. Крім того, літій-іонні батареї широко використовуються в електровелосипедах також завдяки їх високій щільності потужності, високій ефективності, низькому саморозряду та тривалому життєвому циклу [5].

У зарядженій батареї виникає електрорушійна сила (ЕРС) електрохімічного типу внаслідок різної полярності реагентів (ЕРС поляризації). При підключенні навантаження акумулятор виконує роль генератора енергії. ЕРС поляризації створює потік електронів (струм) у навантаженні, підключеному до клем акумулятора, і відповідає за перетворення хімічної енергії в електричну з відповідною доставкою накопиченої хімічної енергії та розрядом акумулятора. При підключенні джерела електроенергії акумулятор виконує роль користувача. ЕРС поляризації протидіє потоку електронів (струму), створеного зовнішнім джерелом, у батарею та відповідає за перетворення електричної енергії в хімічну з відповідним накопиченням хімічної енергії та зарядом батареї.

З хімічної точки зору, робота батарей заснована на окислювально-відновній реакції, тобто хімічній реакції, яка відбувається, коли речовина зазнає відновлення (приєднання електрона), а інший елемент піддається окисленню (втрата електрона). Окисно-відновні реакції протилежного типу відбуваються при підключенні батареї до електричного навантаження або до джерела електричної енергії (генератора). Окисно-відновна реакція відбувається між двома електродами: катодом і анодом. Анод - це електрод, де

відбувається окислення, катод, де відбувається відновлення.

Механізм зарядки літій-іонної батареї полягає в тому, що іони перетікають від кристалічної решітки анода до катода. Під час розряду дисоціація іонів літію створює вільні електрони в аноді, які генерують заряд на позитивному колекторі струму. Потім генерований електричний струм тече від струмоприймача через навантаження до негативного струмоприймача (тобто катода). Поки батарея розряджається та забезпечує електричний струм через зовнішнє електричне коло, анод вивільняє позитивно заряджені іони літію на катод, створюючи потік іонів усередині батареї. Між катодом і анодом електроліт сприяє руху позитивних іонів літію, тоді як сепаратор блокує потік електронів всередині батареї. При підключенні пристрою відбувається протилежна реакція [6].

Крім того, є безліч варіантів реалізації акумуляторних батарей зібраних у великі блоки з акумуляторів стандарту 18650, бо вони мають відносно невелику вагу та компактні розміри. Вони можуть бути легко розміщені у спеціально призначених каркасах або підсідельних сумках без значного збільшення ваги чи об'єму велосипеда.

Крім того, літій-іонні акумулятори типу 18650 відзначаються високою довговічністю та стабільністю роботи. Вони здатні пройти значну кількість циклів зарядки-розрядки без помітного зниження ємності чи ефективності. Це забезпечує тривалий та надійний робочий процес електровелосипеда.

Значна різноманітність доступних моделей літій-іонних акумуляторів типу 18650 також грає важливу роль у виборі. Це дозволяє знайти оптимальний варіант з урахуванням індивідуальних потреб, бюджету та очікувань користувача.

Такий варіант використання цих акумуляторів є дуже розповсюдженим та має багато прикладів реальних пристроїв побудованих на цьому принципі. Одним з найвідоміших є компанія Tesla, яка використовує технологію літій-іонних акумуляторів, включаючи акумулятори 18650, у своїх електромобілях. Наприклад, Tesla Model S використовує тисячі таких акумуляторів, які

дозволяють забезпечити велику потужність та значну дальність поїздки. У 2008 році Tesla представила свій перший автомобіль, Tesla Roadster. Цей спортивний автомобіль використовував батареї літій-іонних акумуляторів типу 18650, розташовані у блоках, для живлення свого електромотора. Roadster став першим виробничим електромобілем, який здатний подолати понад 320 км на одному заряді, а це свідчить про стабільність цієї технології та безпечність її використання.

Отже, найліпшим варіантом акумулятора для електровелосипеда буде літій-іонна батарея об'єднана у блоки з акумуляторів типу 18650. Такі рішення продаються окремо і можна без проблем підібрати потрібну за струмом та напругою під параметри нашого електровелосипеда.

3 ПРИСТРІЙ ЗБОРУ ДАНИХ ЕЛЕКТРОВЕЛОСИПЕДУ

3.1 Апаратна частина пристрою

В даній роботі проводиться розробка пристрою для збору основних показників електровелосипеду.

Основними показниками обрано наступні показники:

- Швидкість руху електровелосипеду;
- Споживання струму в А;
- Напруга батареї в В;
- Потужність споживання енергії.

Отриманні дані ми будемо зберігати на SD карту. При підключенні до мережі дані автоматично будуть відправлені на сервер для подальшої обробки та отримання статистики.

Структурна схема розробленого пристрою приведена на рис 3.1.

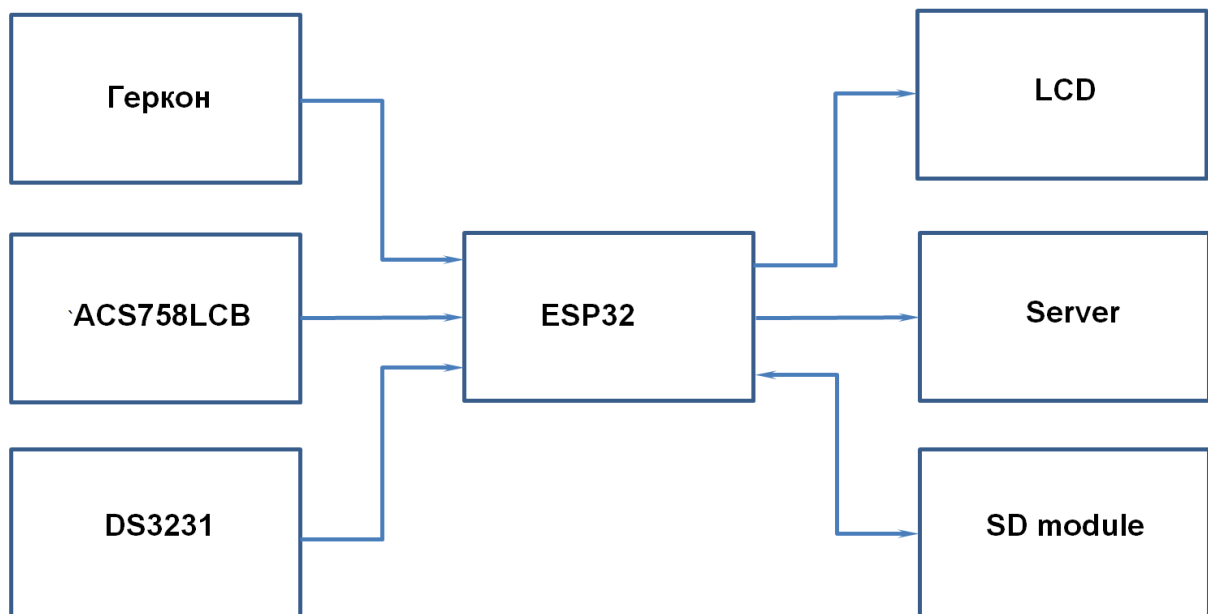


Рисунок 3.1 - Структурна схема пристрою

Пристрій складається з наступних компонентів:

- Геркон використовується для отримання швидкості та загальної

відстані;

- ACS758LCB модуль для отримання показників споживання струму електровелосипеду;
- DS3231 модуль реального часу для отримання часу та при записі на флешкарту встановлювати час запису;
- LCD модуль дисплей для відображення основних показників користувачу;
- Server для зберігання даних та аналізу отриманих даних;
- SD модуль використовується для запису на флеш-карту основних показників електровелосипеду;

Розглянемо більш детально кожен компонент пристрою та його характеристики.

На рисунку 3.2 наведено зовнішній вигляд геркону який спрацьовує при наявності магнітного поля.



Рисунок 3.2 - Зовнішній вигляд геркону

Основні характеристики геркону:

- Напруга, що комутується: до 100В;
- Потужність комутації: до 10 Вт;
- Опір контакту, не більше: 0.1 Ом;
- Опір ізоляції: 10 Гом;
- Час спрацьовування, не більше: 1мс.;
- Час відпускання, не більше: 0.5мс;
- Діапазон робочих температур: від -60 до +150 °С;
- Розміри: скляна колба (довжина) - 15 мм, діаметр - 2 мм, висновки - 12 мм;

На рисунку 3.3 приведено зовнішній вигляд модуля ACS758LCB для вимірювання струму споживання електровелосипеду.

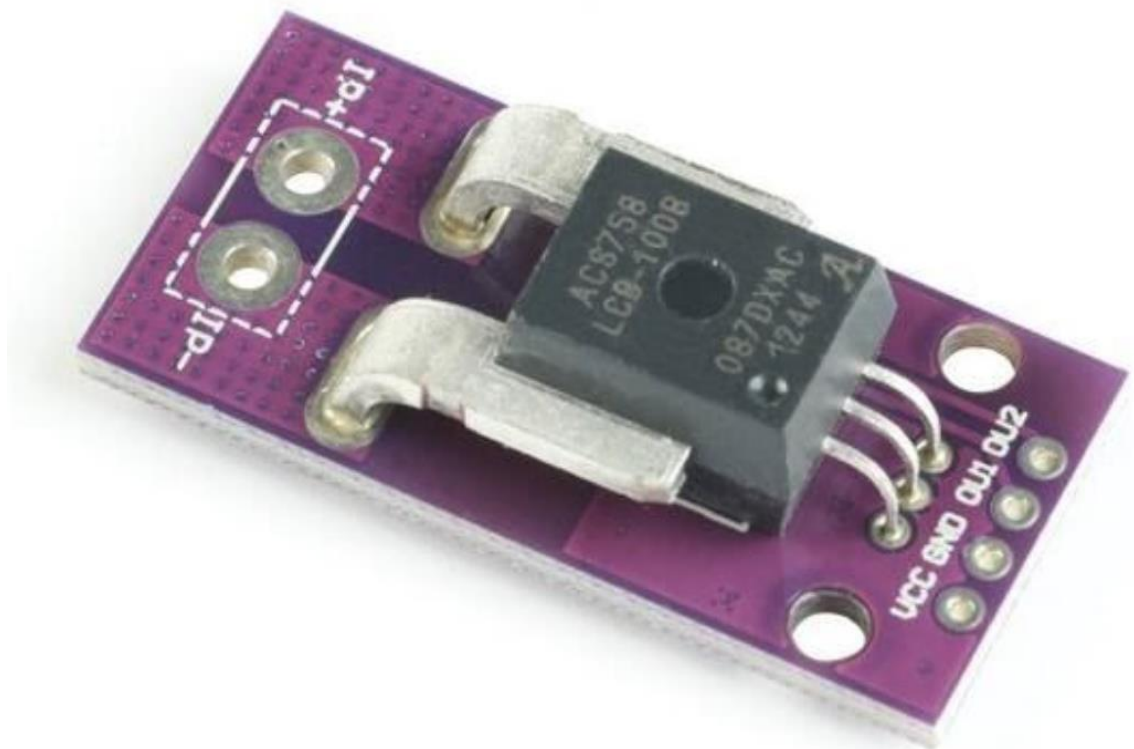


Рисунок 3.3 - Зовнішній вигляд модуля ACS758LCB

Основні характеристики ACS758LCB:

- Датчик струму: ACS758LCB-100B-PFF-T;
- Поляризація: двонаправлений;
- Вимірюваний струм: 100 А;
- Частота: 120кГц;
- Чутливість: 20 мВ / А;
- Час відгуку: 4 μ s;
- Точність: \pm 2%;
- Напруга живлення: від 3В до 5,5В;
- Струм живлення (раб.): 10мА;
- Робоча температура: від -40 до +150 °С;

Зовнішній вигляд модуля DS3231 реального часу приведено на рисунку 3.4.

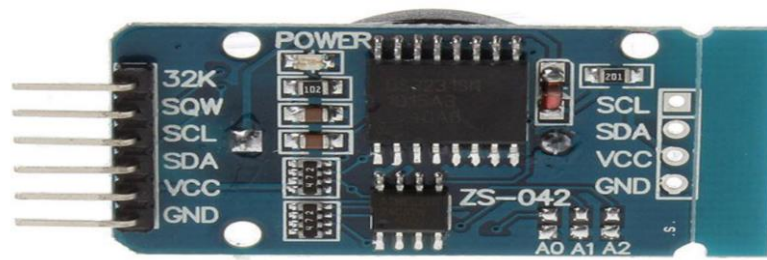


Рисунок 3.4 - Зовнішній вигляд модуля реального часу DS3231

Основні характеристики модуля DS3231:

- Лічильники секунд, хвилин, годин, днів тижня, днів, місяців та років з календарем з корекцією високосного року до 2100 року;
- Стабільність генератора ± 2 ppm в діапазоні температур від 0 °C до +40 °C;
- Стабільність генератора $\pm 3,5$ ppm в діапазоні температур від -40 до +85 °C;
- Точність внутрішнього цифрового датчика температури ± 3 °C;
- Регістр корекції точності ходу годинника;
- Два режиму шини I2C: 100кГц та 400 кГц;
- Робоча напруга живлення від 3.0В до 5.5В;
- Робочий температурний діапазон: від 0 до + 70 °C.

Зовнішній вигляд OLED дисплею приведено на рисунку 3.5 використовується для відображення даних.

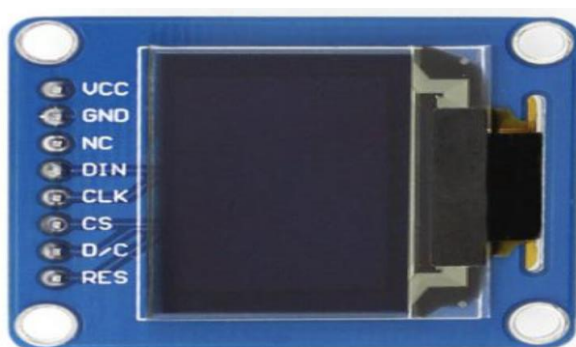


Рисунок 3.5 - Зовнішній вигляд OLED дисплею

Основні характеристики OLED дисплею :

- Драйвер дисплея: SSD1331;
- Інтерфейс: SPI;
- Робоча напруга: від 3.3В до 5В;
- Напруга інтерфейсів: від 3.3В до 5В;
- Роздільна здатність: 96 * 64;
- Розмір дисплея: 0.95-дюйма;
- Кут огляду:> 160 °;
- Робоча температура: від 20 ° С до 70 ° С.

Зовнішній вигляд модуля для роботи з SD картами приведено на рисунку

3.6.

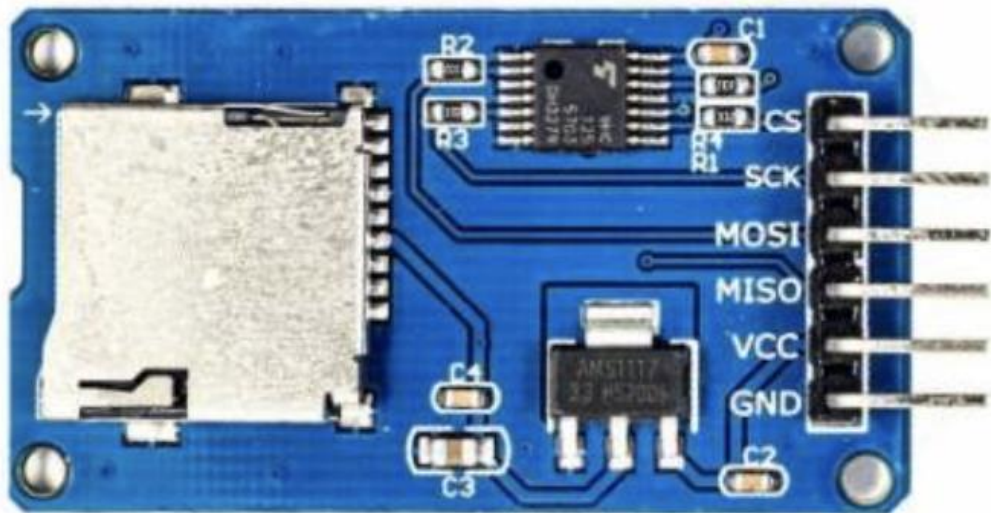


Рисунок 3.6 - Зовнішній вигляд SD модуля

Основні характеристики SD модуля:

- Призначення: читання/запис карт формату SD;
- Інтерфейс: SPI;
- Живлення: вбудований стабілізатор 3.3В;
- Розміри: довжина 50мм ширина 33 мм.

На рисунку 3.7 приведено зовнішній вигляд ESP32.

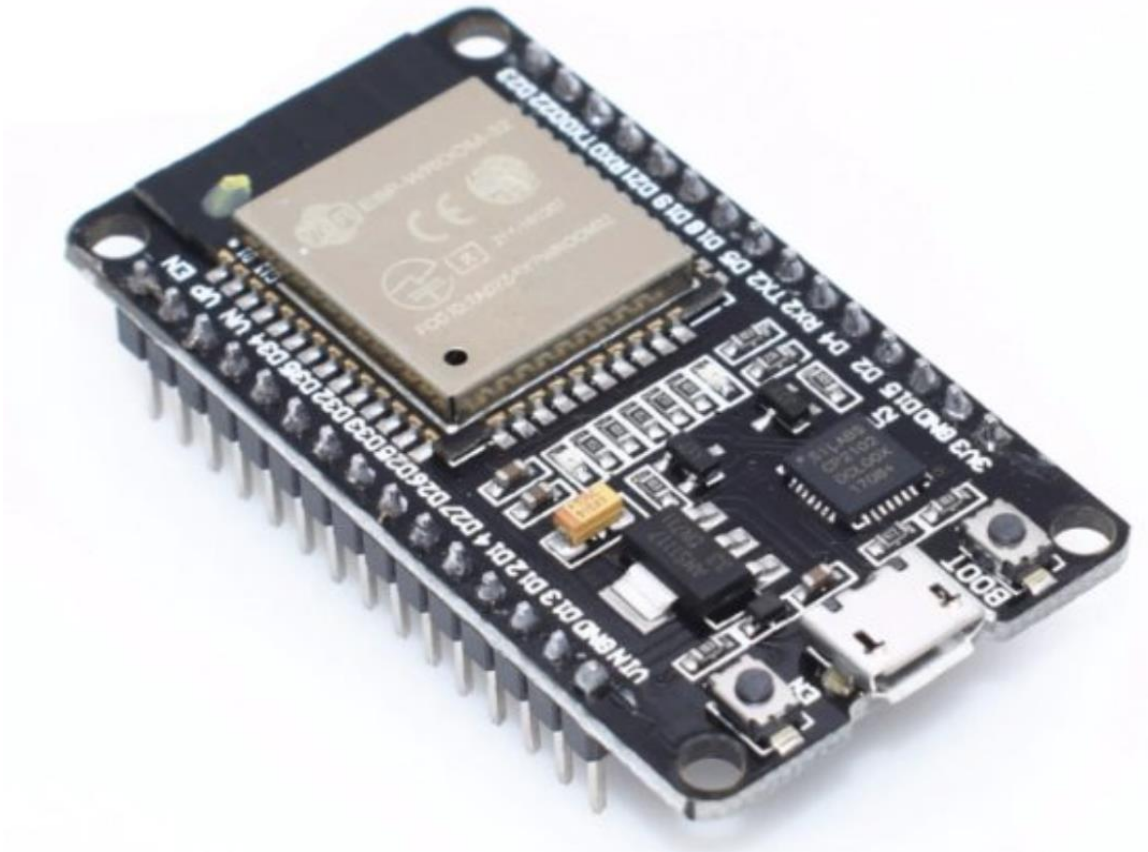


Рисунок 3.7 - Зовнішній вигляд ESP32

Основні технічні характеристики ESP32:

Мікроконтролер:

- Процесор: Dual-core Tensilica LX6, частота 240МГц;
- Оперативна пам'ять: 520 КБ SRAM;
- Вбудована флеш-пам'ять: залежно від моделі, зазвичай 4 МБ;

Бездротові інтерфейси:

- Wi-Fi: 802.11 b/g/n;
- Bluetooth: v4.2 BR/EDR та BLE;

Інтерфейси введення/виведення:

- Порти вводу/виводу GPIO (до 36шт);
- ADC до 18шт 12-бітного аналого-цифрового перетворювача;
- DAC (2 канали 8-бітного цифро-аналогового перетворювача);
- SPI, I2C, I2S, UART;
- PWM;

Живлення:

- Напруга живлення: від 2.2В до 3.6В;
- Вбудований стабілізатор напруги від 3.3В до 5В;

Пам'ять та сховище:

- Підтримка зовнішньої SPI флеш-пам'яті
- Вбудований підтримка файлових систем, таких як SPIFFS та FAT

3.2 Програмна частина пристрою

Для розробки програмної частини пристрою було обрано середовище розробки ARDUINO IDE 2.3.2.

Обране середовище дозволяє зручно використовувати бібліотеки для ESP32 та спрощує розробку для розробника, що в свою чергу прискорює процес розробки програмного забезпечення в цілому.

При розробці програмної частини ми створили наступні файли які представлено на рисунку 3.8.

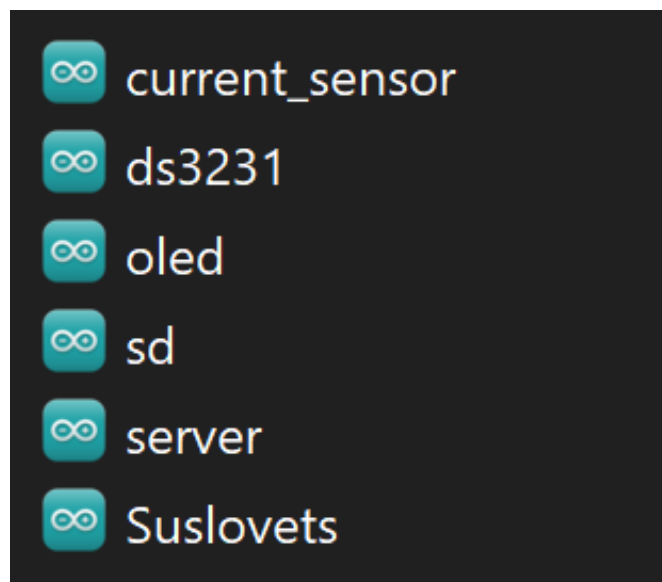


Рисунок 3.8 – Перелік файлів розробленої програмної частини

Розглянемо призначення кожного файлу:

- Файл Suslovets – в даному файлі описаний основний код програми

що виконується, підключення бібліотек та оголошено глобальні зміни;

- Файл `current_sensor` – в даному файлі описані функції для роботи з модулем ACS758LCB, що дає нам змогу отримувати загальний струм споживання електровелосипеду;

- Файл `ds3231` – в даному файлі описані функції для роботи з модулем реального часу DS3231, що забезпечує отримання реального поточного часу, та при записі на флеш карту даних основних показників електровелосипеду вказуємо час та отримані показники;

- Файл `oled` – в даному файлі описані функції для роботи з oled дисплеєм, що забезпечує відображення показників на ньому для інформативності користувачу;

- Файл `sd` – в даному файлі описані функції для роботи з SD модулем, що забезпечує роботу з флеш картою для запису даних показників на неї;

- Файл `server` – в даному файлі описані функції для відправки даних з флеш карти на сервер при підключенні до Wi-Fi мережі, в подальшому дані будуть зберігатись на сервері для подальшого аналізу та надання статистики користувачу;

Розглянемо детальніше кожен фал та описані в ньому основні функції які ми створили для роботи з модулями та спрощення написання основного коду програми для нашого пристрою.

В першу чергу розглянемо головний файл «Suslovets» в якому ми оголошували всі глобальні змінні та бібліотеки.

Було використано наступні бібліотеки:

- `#include <WiFi.h>` – дана бібліотека використовується для роботи з бездротовою мережею Wi-Fi, за допомогою якої в подальшому наш пристрій відправляє отримані дані до серверу для подальшого зберігання та аналізу.

- `#include <HTTPClient.h>` – бібліотека для роботи з HTTP протоколом, завдяки використанню HTTP протоколу ми надсилаємо до

серверу дані за допомогою POST методу даного протоколу. Даний метод є захищеним тобто при передачі данні передаються не в явному вигляді а в зашифрованому, що в свою чергу забезпечує цілісність та надійність даних.

- `#include "RTCLib.h"` – бібліотека для роботи з модулем реального часу, в нашому випадку ми використовуємо RTC для встановлення дати та часу в момент запису даних на флеш карту.

- `#include "SD_MMC.h"` – бібліотека використовується для роботи з флеш катми, в нашому випадку ми записуємо дані про струм споживання, напругу акумуляторної батареї, швидкість та відстань електровелосипеду. Коли користувач підключає пристрій до бездротової мережі Wi-Fi дані що записані на флеш каті автоматично передаються на сервер для подальшого зберігання статистики та аналізу отриманих даних.

- `#include <Wire.h>` – бібліотека використовується для роботи з I2C інтерфейсом, в нашому випадку OLED дисплей підключається до ESP32 по інтерфейсу I2C.

- `#include <Adafruit_GFX.h>` – додаткова бібліотека для спрощення роботи з OLED дисплеєм.

- `#include <Adafruit_SSD1306.h>` – бібліотека для виводу на OLED дисплей інформації, в нашому випадку ми виводимо швидкість відстань споживання струму та напруги на акумуляторній батареї.

От же ми розглянули бібліотеки що використовували при розробці програми для збору даних електровелосипеду. Далі розглянемо основні глобальні змінні та функції ініціалізації наших модулів.

Глобальні змінні для підключення до бездротової мережі та відправки даних до серверу:

```
const char* ssid      = "suslovets-ssid";
const char* password = "suslovets-password";
const char* server    = "www.bike-suslovets.com/update";
```

Глобальні змінні для тимчасового зберігання основних показників які будемо записувати на флеш карту:

```
float kmh = 0.0;
float distance = 0.0;
float current = 0;
float voltage = 0;
float power = 0;
```

Глобальна змінна `kmh` – в неї зберігаємо пораховану швидкість, `distance` – змінна для збереження порахованої дистанції яку подолав електровелосипед, `current` – змінна для збереження струму що споживається, `voltage` – змінна зберігає напругу на клеммах акумуляторної батареї, `power` – потужність що споживається.

Ініціалізації:

- `pinMode(GERCON_PIN, INPUT)` проводимо ініціалізацію піна для роботи з герконом. Робота з герконом буде розглянута нижче, тобто як ми проводимо розрахунок швидкості та дистанції за допомогою його використання;

- `pinMode(CURRENT_SENSE_PIN, INPUT)` проводимо налаштування тобто ініціалізацію піна для роботи з модулем ACS758LCB, даний модуль дозволяє отримати стум споживання електровелосипеду.

- `Serial.begin(9600)` проводимо ініціалізацію UART інтерфейсу, в нашому випадку ми його використовуємо для відладки та інформування даними які ми отримуємо від модулів та при збереженні на флеш карту та при відправці на сервер. Всі ці дані ми відправляємо до монітору порту у випадку підключенні нашого пристрою до персонального комп'ютера або іншого пристрою який зчитує дані з COM порт.

- `rtc.begin()` ініціалізація модуля реального часу.

- `rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)))` встановлюємо час та дату в момент завантаження скетчу до ESP32, що забезпечує простоту встановлення дати та часу на модуль ds3231.

- `initSD` проводимо ініціалізацію модуля для роботи з флеш картами, дана функція створена нами в файлі `sd.ino`. Дана функція перевіряє чи підключений модуль до ESP32, у випадку якщо модуль не виявлено буде

надіслане повідомлення до COM порту: "Failed to mount card".

- `display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, I2C_ADDRESS_OLED)` виконуємо ініціалізацію дисплею у випадку не виконання ініціалізації в ком порт буде надіслане повідомлення про помилку ініціалізації «SSD1306 failed!».

- `oledInit()` функція розроблена нами в файлі `oled.ino`. Після виклику даної функції на дисплей буде текст. Приклад виводу інформацію після ініціалізації приведено на рисунку 3.9.

- `WiFi.begin(ssid, password)` проводимо ініціалізацію модуля Wi-Fi, в нашому випадку необхідно для виходу до глобальної мережі для відправки даних до серверу.

- `http.begin(server)` проводимо ініціалізацію HTTP сервера для використання HTTP протоколу.

- `xTaskCreatePinnedToCore(Task_GERCON, "Task_GERCON", 4096, NULL, 1, NULL, tskNO_AFFINITY)` використовується для створення задачі яка буде обробляти геркон, використовуємо FreeRTOS.

Отже FreeRTOS (Free Real-Time Operating System) – це операційна система реального часу з відкритим вихідним кодом, яка використовується для вбудованих систем. Вона спеціально розроблена для мікроконтролерів та малих мікропроцесорів, що робить її ідеальною для пристроїв з обмеженими ресурсами.

Розглянемо основні особливості FreeRTOS:

1. Керування задачами:

- Підтримка багатозадачність з різними рівнями пріоритетів.
- Задачі можуть створюватись, видалятись та керуватись динамічно.

2. Планувальник:

- Реалізує алгоритми превентивного, кооперативного та гібридного планування.
- Завжди виконує задачу з найвищим пріоритетом, яка готова до

виконання.

3. Міжзадачне спілкування:

- Черги: Використовуються для передачі даних між задачами.
- Семафори та м'ютекси: Використовуються для синхронізації задач та захисту спільних ресурсів.
- Групи подій: Використовуються для встановлення та очікування настання подій.

4. Управління пам'яттю:

- Підтримує кілька схем розподілу пам'яті (управління купою).
- Підтримка статичного розподілу пам'яті для зменшення фрагментації.

5. Таймери та затримки:

- Програмні таймери для виконання функцій з певними інтервалами.
- Функції затримки для створення затримок у задачах.

6. Портативність:

- Підтримує багато апаратних платформ та архітектур.
- Легко переноситься на нові архітектури мікроконтролерів.

7. Малий розмір:

- Спроектвана для роботи з малим об'ємом пам'яті, підходить для пристроїв з обмеженими ресурсами.

Програма на FreeRTOS як правило включає наступні частин:

- Ініціалізація – проводимо ініціалізацію апаратного забезпечення та периферійних пристроїв, створення задач та інших об'єктів FreeRTOS (тобто, черги семафори та інше);
- Функції задач – реалізація функціональності задач в окремих функціях, кожна функція містить безкінечний цикл для постійного виконання задачі;
- Планувальник – запуск планувальника для початку виконання

задач.

Отже ми виконали ініціалізацію наступних задач:

- Task_GERCON – для обробки геркону, щоб вирахувати оберти колеса для розрахунку швидкості електровелосипеду;
- Task_POWER – для обробки аналогового датчика ACS758LCB та аналого-цифрового перетворювача для визначення сили струму, напруги на акумуляторній батареї та визначення потужності що споживає електровелосипед;
- Task_OLED – для виводу даних на дисплей для інформування користувача;
- Task_SD – для роботи з SD модулем, тобто проводимо запис даних на флеш карту, та відправки даних на сервер після зчитування даних з флеш карти.

Розглянемо функції задач FreeRTOS які ми створили, для кожної проініціалізованої задачі.

Функція `void Task_GERCON(void *pvParameters)` в ній ми описуємо розрахунок швидкості та дистанції електровелосипеда.

На рисунку 3.9 приведено встановлення геркону та магніту на колесо велосипеда для фіксування повного оберту колеса. Отже для відстані яку проїде велосипед за один оберт можна розрахувати наступним чином:

$$L = 2\pi r^2 \quad (1.1)$$

де, r – радіус колеса

Значення L складає 207см, оскільки діаметр колеса складає 66.04см.

Для розрахунку загальної дистанції ми підраховуємо кількість виконаних повних обертів та множимо на довжину повного оберту (на значення L) після чого отримуємо загальну дистанцію.

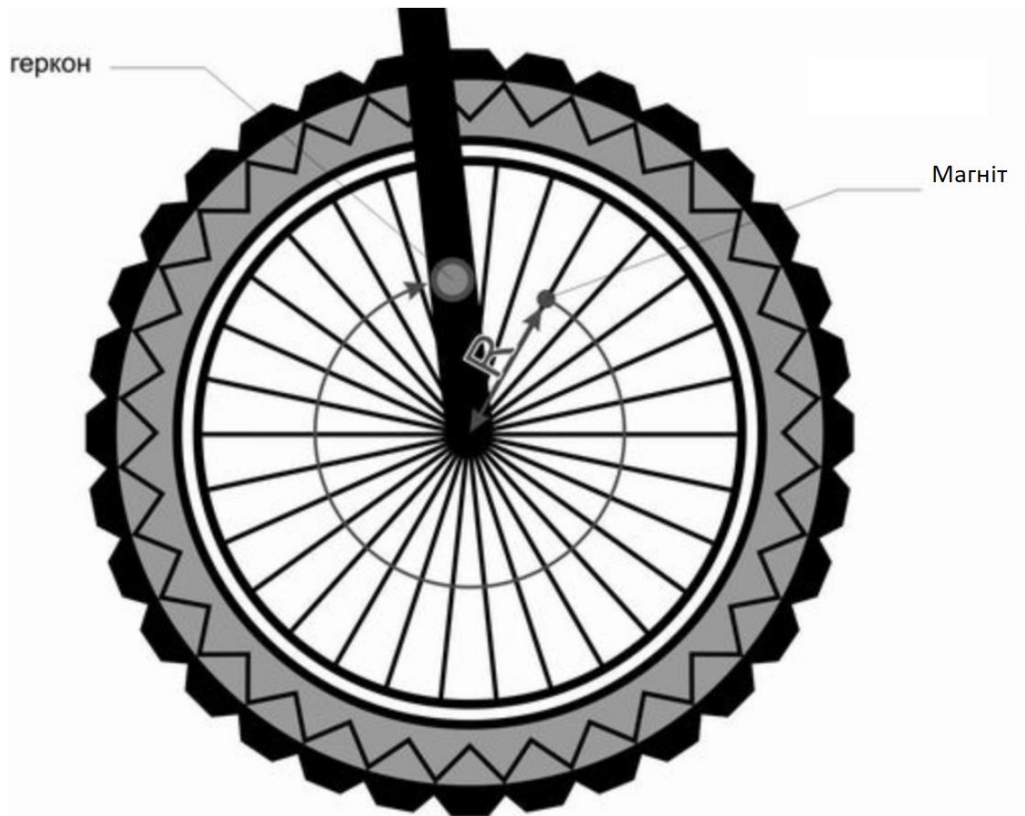


Рисунок 3.9 – Зображення встановлення геркону та магніту для відслідковування повного оберту колеса

Для підрахунку швидкості км/годину електровелосипеду ми використовували наступну формулу:

$$V = L \frac{1}{T} 3,6 \quad (1.2)$$

де, L – відстань за один оберт в метрах;

T – час за який колесо робить повний оберт в секундах;

3,6 – коефіцієнт для переведення швидкості м/с в км\год.

Повний опис функції задачі Task_GERCON приведено в додатку А.

Функція void Task_POWER(void *pvParameters) – виконує зчитування показників модуля струму ACS758LCB та з вбудованого аналого-цифрового перетворювача 12-ти бітного та дільника напруги для забезпечення максимальної напруги на аналого-цифрового перетворювачі не більше 3,3В. Також в даній функції ми отримуємо потужність в Вт що використовує електровелосипед.

Функція `void Task_OLED(void *pvParameters)` – використовується для безперервного відображення основних показників електровелосипеду не зважаючи на отримання паралельно даних від модулів струму, аналого-цифрового перетворювача, геркону. На рисунку 3.10 приведено відображення тексту після ініціалізації дисплею.

На рисунку 3.11 приведено відображення даних на OLED дисплей при використанні `Task_OLED` функції яка використовує функцію `oled()` з файлу `oled.ino`.



Рисунок 3.10 – Відображення тексту на OLED дисплею після проходження ініціалізації дисплею

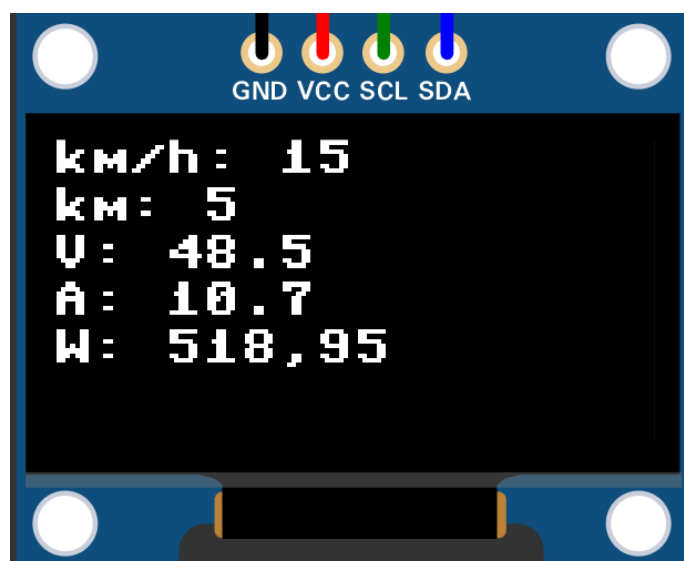


Рисунок 3.11 – Відображення даних на OLED дисплею

Функція `void Task_SD(void *pvParameters)` – використовується для запису даних на флеш карту. Флеш карта вставляється в SD модуль. Дана функція викликає функцію `recordSD(dataFroSD(), FILE_NAME)` яка створена та описана в файлі `sd.ino`.

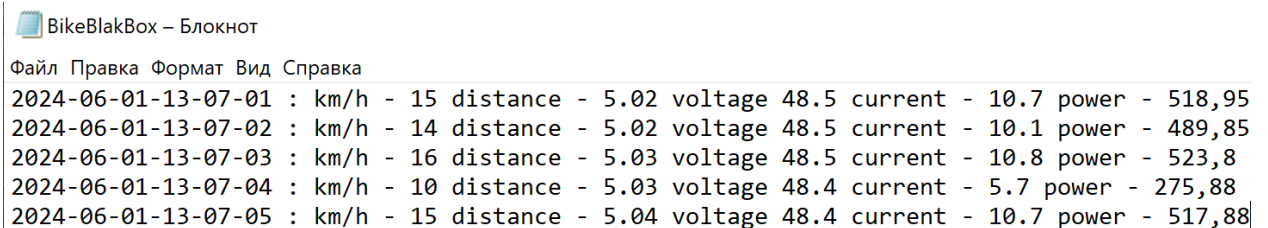
Приклад виводу даних в режимі тесту до COM порту приведено на рисунку 3.12.

```
load:0x40080400,len:2972
entry 0x400805dc
Initializing SD card... initialization done.
File BikeBlakBox.txt

2024-06-01-13-07-01 : km/h - 15 distance - 5.02 voltage 48.5 current - 10.7 power - 518,95
2024-06-01-13-07-02 : km/h - 14 distance - 5.02 voltage 48.5 current - 10.1 power - 489,85
2024-06-01-13-07-03 : km/h - 16 distance - 5.03 voltage 48.5 current - 10.8 power - 523,8
2024-06-01-13-07-04 : km/h - 10 distance - 5.03 voltage 48.4 current - 5.7 power - 275,88
2024-06-01-13-07-05 : km/h - 15 distance - 5.04 voltage 48.4 current - 10.7 power - 517,88
```

Рисунок 3.12 – Створення файлу `BikeBlakBox.txt` на флеш карті після ініціалізації та запис даних на неї.

Приклад вигляду даних в файлі приведено на рисунку 3.13



```
BikeBlakBox - Блокнот
Файл Правка Формат Вид Справка
2024-06-01-13-07-01 : km/h - 15 distance - 5.02 voltage 48.5 current - 10.7 power - 518,95
2024-06-01-13-07-02 : km/h - 14 distance - 5.02 voltage 48.5 current - 10.1 power - 489,85
2024-06-01-13-07-03 : km/h - 16 distance - 5.03 voltage 48.5 current - 10.8 power - 523,8
2024-06-01-13-07-04 : km/h - 10 distance - 5.03 voltage 48.4 current - 5.7 power - 275,88
2024-06-01-13-07-05 : km/h - 15 distance - 5.04 voltage 48.4 current - 10.7 power - 517,88
```

Рисунок 3.13 – Відображення даних в редакторі Блокнот

Відправка даних відбувається до серверу відбувається у випадку коли користувач підключається до бездротової мережі Wi-Fi, тому ми винесли в окремо до функції `loop()` яка працює в нескінченному циклі лише перевірку на підключення до бездротової мережі і у випадку підключення починається зчитування даних з флеш карти та передача цих даних до серверу, для подальшого зберігання їх та обробки.

```
void loop() {
    if(WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
```

```
    readSD(FILE_NAME);  
  }  
}
```

При розробці апаратної частини ми використовували ESP32 Dev kit оскільки даний мікропроцесор відповідає всім нашим потребам а саме, присутність інтерфейсів зв'язку з зовнішніми модулями, присутність вбудованого бездротового модуля для відправки даних до серверу.

Підчас розробки програмної частини ми використовували середовище розробки ARDUINO IDE, та мову програмування C/C++ та застосували багато поточність розділивши задачі на окремі частини які відповідають за певні задачі такі як зчитування даних з різних модулів. Досягнення багато поточності ми змогли досягнути за рахунок використання FreeRTOS.

ВИСНОВКИ

При виконанні кваліфікаційної роботи було проведено літературний огляд на історію та розвиток та популяризацію напрямку розробки та впровадження електровелосипедів.

Проаналізовано основні компоненти електровелосипеду та виділено наступне:

- батарея, яка складається з літій-іонних акумуляторів;
- силова частина, тобто контроль живлення електродвигуна;
- електродвигун.

Під час виконання кваліфікаційної роботи застосували теоретичні знання та створили пристрій збору статистики основних параметрів електровелосипеду:

- швидкість;
- дистанція;
- напруга акумуляторної батареї;
- струм споживання електровелосипеду;
- загальна потужність споживання електровелосипеду.

Зібрані дані зберігаються на флеш карту з вказанням часу та дати запису параметрів.

Розроблено автоматичне відправлення записаних даних до серверу для подальшого зберігання даних та обробки.

Всі сформульовані в роботі задачі виконані в повному обсязі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Вікіпедія, вільна енциклопедія [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Велосипед/> (дата звернення 04.06.2024).
2. Ільченко А.В. Використання вбудованих ФЕМ для покращення експлуатаційних характеристик комбінованого туристичного електротранспортного засобу: дис. Ст. викладач, к.т.н. Вишневецька Ю.П. – Київ, 2020. – 72с.
3. Adolfo D. E-Bike Motor Drive: A Review of Configurations and Capabilities/ Adolfo Dannier // *Energies* 2023, 16(1), 160;
4. Jeremy B. Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry / Jeremy Blum // John Wiley & Sons Inc, Indianapolis, IN, 2019. – 404с.
5. Warren G. Beginning STM32 / Warren Gay // St. Catharines, Canada 2018, Apress Berkeley. – 409с.
6. Alexander M. Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things / Alexander M. Andrew S. Yuriy V. // *2017 Internet Technologies and Applications (ITA)*. – 2017.
7. Voelcker, J. Lithium Batteries Take To The Road. / Voelcker, J // *IEEE Spectr.* 2007, 44, 26–31.
8. Kakimoto, N.; Fujii, Y. Inherent Equalization of Lithium-Ion Batteries Based on Leakage Current. / Kakimoto, N.; Fujii, Y. // *IEEE Trans. Sustain. Energy* 2019, 10, 170–180.
9. Plett, G.L. Battery Management Systems, Volume I: Battery Modeling; / Plett, G.L. // Artech House: Norwood, MA, USA, 2015.
10. Ровінський, В. А. Вибір операційних систем реального часу при розробці пристроїв для технічної діагностики / В. А. Ровінський, О. В. Євчук, Ю. В. Ровінський // *Методи та прилади контролю якості*. - 2022. - № 1. - С. 66-77.