

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Автомобілів

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розробка концептуальної системи електромобіля на базі

транспортного засобу з двигуном внутрішнього згорання

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МАс-41
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

		Ребеза М.А.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник		Міронов Д.В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль		Левкович М.Г.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Зав. кафедри		Цьонь О.П
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент		Дубиняк Т.С.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«29» січня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Ребезі Миколі Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка концептуальної системи електромобіля на базі транспортного засобу з двигуном внутрішнього згорання

Керівник роботи Міронов Дмитро Вікторович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 29 » січня 2024 року № 4/7-74

2. Термін подання студентом завершеної роботи 23 червня 2024

3. Вихідні дані до роботи Технічні параметри зарядних пристроїв, технічні параметри АКБ для електро- і гібридних автомобілів, технічні параметри ДВЗ.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ. 4 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Сучасні електричні автомобілі та їх параметри – 1А1.

Вибір двигуна та тягової батареї – 1А1.

Моделювання ЕМС та експлуатаційні характеристики ТЗ – 1А1.

Функціональна схема синхронного електроприводу – 1А1.

Схема електрична принципова силової частини перетворювача – 1А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці			

7. Дата видачі завдання

29.01.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	09.02.2024	
2	Технологічний розділ	07.06.2024	
3	Конструкторський розділ	14.06.2024	
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	20.06.2024	
5	Оформлення графічної частини	20.06.2024	
6	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	24.06.2024	

Студент

(підпис)

Ребеза М.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Міронов Д.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи бакалавра на тему: «Розробка концептуальної системи електромобіля на базі транспортного засобу з двигуном внутрішнього згорання».

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є розробка комплексного проекту переведення легкового автомобіля з ДВЗ на електричну тягу шляхом гібридизації, включаючи розрахунок параметрів системи та вибір необхідних компонентів для ефективної реалізації гібридної установки.

У роботі розглянуто сучасний стан та перспективи розвитку напрямку електро- та гібридних колісних транспортних засобів у світі та в Україні. Виконано оцінку динаміки розвитку цього ринку.

Розглянуто Renault Logan як базову модель для гібридизації. Цей вибір обумовлений його широкою популярністю, доступністю та простотою конструкції, що спрощує процес модифікації. Проведено детальні розрахунки для визначення параметрів електродвигуна та акумуляторної батареї, необхідних для забезпечення бажаних динамічних характеристик автомобіля. Проведено розрахунки та вибір компонентів силової частини електромеханічної системи гібриду.

Пояснювальна записка складається з чотирьох розділів і 65 сторінок формату А4 та 7 аркушів формату А1 графічної частини і 7 сторінок додатків.

Ключові слова: електромобіль, транспортний засіб, двз, акумуляторна батарея, суперконденсатор, електропривод, синхронний двигун з постійними магнітами, electric vehicle, driving cycle.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Електромобільність: основні відомості	8
1.2 Сучасний стан і тенденції в електромобільності	12
1.3 Використання синхронних двигунів з постійними магнітами в електромобілях	19
Висновки до розділу	25
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	26
2.1 Розрахунок та вибір електродвигуна	27
2.2 Розрахунок тягової АКБ гібриду	32
2.3 Вибір і розрахунок силових конденсаторів	36
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	39
3.1 Моделювання схеми електромеханічної системи гібридного транспортного засобу	39
3.2 Розрахунок основних елементів силової схеми	41
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	54
4.1 Основні принципи та функції управління охороною праці на виробництві	54
4.2 Концепція захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	62
БІБЛІОГРАФІЯ	64
ДОДАТКИ	66

ВСТУП

Електрифікація колісного транспорту в останні роки зазнає бурхливого розвитку. Це зумовлено кількома ключовими факторами. По-перше, зростає усвідомлення необхідності зниження шкідливих викидів в атмосферу, спричинених використанням двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Глобальні екологічні проблеми, такі як зміна клімату та забруднення повітря, стимулюють перехід до більш екологічно чистих технологій. По-друге, технологічний прогрес у галузі електродвигунів та акумуляторних батарей зробив електромобілі більш доступними та практичними для масового використання. Крім того, економічні фактори, включаючи зростання цін на традиційні види палива та бажання зменшити залежність від імпорتنих енергоносіїв, підсилюють інтерес до електрифікації транспорту.

Виходячи з цих тенденцій, тема переведення легкового автомобіля на електричну тягу з його гібридизацією є надзвичайно актуальною. Гібридні транспортні засоби поєднують в собі переваги електричної та традиційної тяги, що дозволяє зменшити споживання палива та знизити викиди шкідливих речовин. Обрана структура роботи дозволяє детально дослідити всі аспекти цього процесу — від теоретичних основ електромобільності до практичних розрахунків і вибору компонентів гібридної системи.

Метою роботи є розробка комплексного проекту переведення легкового автомобіля з ДВЗ на електричну тягу шляхом гібридизації, включаючи розрахунок параметрів системи та вибір необхідних компонентів для ефективної реалізації гібридної установки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- Провести аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку електромобільності у світі та в Україні.
- Розглянути основні відомості про електромобільність та використання синхронних двигунів з постійними магнітами в електромобілях.
- Виконати розрахунок та вибір відповідного електродвигуна для гібридної системи.
- Розрахувати параметри тягової акумуляторної батареї для забезпечення необхідної енергетичної ємності.
- Здійснити вибір і розрахунок силових конденсаторів, необхідних для стабільної роботи системи.

- Моделювати схему електромеханічної системи гібридного транспортного засобу.
- Розрахувати основні елементи силової схеми для забезпечення оптимальної роботи гібридної установки.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Електромобільність: основні відомості

Електромобільність набуває значного поширення в глобальному масштабі, стаючи ключовим елементом у трансформації транспортної індустрії. Станом на 2023 рік кількість електричних транспортних засобів на дорогах світу перевищила 10 мільйонів одиниць. Згідно з даними Міжнародного енергетичного агентства (ІЕА)[1], у 2022 році продажі електромобілів зросли на 40% порівняно з попереднім роком, досягнувши рекордних показників.

Основними причинами впровадження електромобільності є екологічні, технологічні та економічні фактори. Зростаюче занепокоєння щодо змін клімату та забруднення повітря стимулює перехід до більш чистих транспортних засобів, оскільки транспортний сектор відповідає за близько 24% глобальних викидів CO₂ [2], причому дорожній транспорт становить три чверті цього показника. Електромобілі допомагають знизити викиди парникових газів, особливо коли електроенергія виробляється з відновлюваних джерел. Крім того, значні досягнення у виробництві акумуляторних батарей призвели до збільшення запасу ходу електромобілів та зниження їх вартості; за останнє десятиліття вартість літій-іонних батарей знизилася на понад 85%, що зробило електромобілі більш доступними для споживачів. Перехід на електромобілі також допомагає країнам зменшити залежність від імпортованих нафтопродуктів, покращуючи енергетичну безпеку та стабільність економіки. Уряди різних країн впроваджують фінансові пільги для покупців електромобілів, що сприяє зростанню попиту на них.

У провідних країнах світу здійснюються різноманітні заходи стимулювання електромобільності. Китай, наприклад, є найбільшим ринком електромобілів у світі, з продажами понад 4 мільйони одиниць у 2023 році. Уряд надає значні субсидії на придбання електромобілів, податкові пільги та інвестує в розвиток зарядної інфраструктури. Крім того, у великих містах діють обмеження на реєстрацію автомобілів з ДВЗ, що стимулює перехід на електротранспорт. У Європейському Союзі впроваджуються суворі норми щодо викидів CO₂ для автомобілів. У Норвегії, де частка електромобілів у нових продажах перевищує 80%, уряд звільняє їх від податку на додану вартість (ПДВ) та мита, а також надає переваги у вигляді безкоштовного паркування та

користування смугами громадського транспорту. У США федеральний уряд пропонує податковий кредит до 7 500 доларів для покупців електромобілів, а окремі штати, такі як Каліфорнія, додатково стимулюють електромобільність через власні програми субсидій та розвиток інфраструктури зарядних станцій. Японія забезпечує фінансові стимули та активно інвестує в технології швидкої зарядки, встановивши ціль до 2035 року перейти на 100% продажів екологічно чистих автомобілів.

Законодавчі норми та пільги також відіграють важливу роль у стимулюванні електромобільності. Деякі країни та міста планують заборонити продаж нових автомобілів з ДВЗ у найближчі десятиліття. Наприклад, Велика Британія має намір заборонити продаж нових бензинових та дизельних автомобілів до 2030 року. Уряди вкладають кошти в розвиток мережі зарядних станцій – у ЄС прийнято план встановлення мільйона громадських зарядних точок до 2025 року. Посилення екологічних стандартів змушує автовиробників інвестувати в електромобільні технології, щоб відповідати новим вимогам.

Існують кілька основних видів транспортних засобів, що повністю або частково працюють на електричній енергії, кожен з яких має свої особливості та переваги (рис. 1.1).

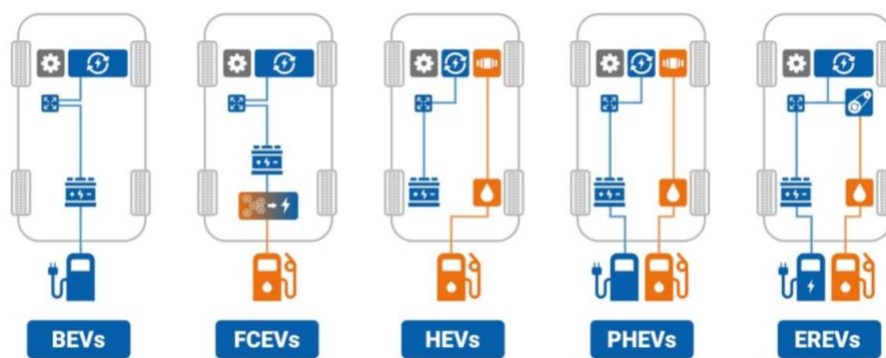


Рисунок 1.1. Класифікація транспортних засобів з електричним приводом

Електромобілі (Battery Electric Vehicles, BEV) повністю живляться від електроенергії, зберігаючи її в акумуляторних батареях, і не мають двигуна внутрішнього згоряння. Вони відрізняються нульовими викидами під час руху та тихою роботою. Прикладом є Tesla Model 3, яка оснащена акумулятором ємністю від 50 до 75 кВт·год і має запас ходу від 350 до 580 км залежно від конфігурації. Інший приклад — Nissan Leaf, з акумулятором на 40 або 62 кВт·год, що забезпечує запас ходу від 240 до 360 км.

Гібридні електромобілі (Hybrid Electric Vehicles, HEV) поєднують двигун внутрішнього згоряння з електродвигуном. Електродвигун допомагає знизити

споживання палива та викиди, але автомобіль не може довго рухатися лише на електротязі. Акумулятор заряджається під час руху завдяки рекуперативному гальмуванню. Прикладом є Toyota Prius, яка має акумулятор ємністю близько 1,3 кВт·год і використовує електродвигун для підтримки ДВЗ, покращуючи паливну ефективність.

Підключаємі гібриди (Plug-in Hybrid Electric Vehicles, PHEV) оснащені як ДВЗ, так і електродвигуном, але їх акумулятори можна заряджати від зовнішньої електромережі, що дозволяє проїжджати більші відстані на електротязі. Mitsubishi Outlander PHEV має акумулятор ємністю 13,8 кВт·год і може проїхати до 50 км на електротязі, після чого переходить на ДВЗ. BMW 330e з акумулятором на 12 кВт·год забезпечує електричний запас ходу близько 40 км, поєднуючи динаміку бензинового двигуна з екологічністю електротяги.

Електромобілі з подовжувачем ходу (Extended Range Electric Vehicles, EREV) використовують електродвигун для руху, а ДВЗ працює як генератор для заряджання батареї, коли її заряд знижується. BMW i3 REx є прикладом такого підходу: з акумулятором ємністю 33 кВт·год вона має електричний запас ходу близько 200 км, а бензиновий двигун-генератор подовжує загальний запас ходу до приблизно 330 км.

Транспортні засоби на паливних елементах (Fuel Cell Electric Vehicles, FCEV) перетворюють водень в електроенергію за допомогою паливних елементів, живлячи електродвигун і викидаючи лише водяну пару. Toyota Mirai є одним з таких автомобілів, пропонуючи запас ходу близько 500 км на одному заправленні воднем. Hyundai Nexo — ще один приклад FCEV, здатний проїхати до 610 км без дозаправки.

Існує важливий параметр, за яким визначається співвідношення потужності між компонентами силової установки у гібридних електромобілях (HEV) — це ступінь гібридизації. Цей параметр характеризує відносну потужність електродвигуна порівняно із загальною потужністю силової установки і дозволяє класифікувати гібридні автомобілі за рівнем інтеграції електричної та механічної тяги.

Формула для розрахунку ступеня гібридизації має наступний вигляд:

$$h = \frac{P_E}{P_E + P_{\text{ДВЗ}}} \quad (1.1)$$

де h — ступінь гібридизації (безрозмірна величина, може виражатися в частках або відсотках);

P_E – максимальна потужність електродвигуна, кВт;

$P_{ДВЗ}$ – максимальна потужність двигуна внутрішнього згорання, кВт;

Цей параметр варіюється від 0 до 1 (або від 0% до 100%), де значення ближчі до 0 вказують на мінімальну участь електродвигуна, а значення ближчі до 1 — на максимальну. Відповідно до значення цього показника розрізняють наступні види гібридів (табл. 1.1):

1. Мікрогібриди ($h < 0,1$):

У мікрогібридах електродвигун має дуже малу потужність і виконує функції системи «старт-стоп» та рекуперації енергії при гальмуванні. Електродвигун не забезпечує прямого руху автомобіля, а лише допомагає знизити навантаження на ДВЗ. Приклади: Mazda i-Stop, Volkswagen Start-Stop System.

2. М'які гібриди (Mild Hybrid) ($0,1 < h < 0,25$):

У цих гібридах електродвигун підтримує ДВЗ під час прискорення та може забезпечувати короткочасний рух на електротязі на низьких швидкостях. Електродвигун також допомагає в рекуперації енергії. Приклади: Honda Insight, де електродвигун потужністю 10 кВт підтримує ДВЗ потужністю 65 кВт, що дає $h \approx 0,13$; Suzuki Swift SHVS з електродвигуном 2,3 кВт і ДВЗ 66 кВт має $h \approx 0,034$.

3. Повні гібриди (Full Hybrid) ($0,25 < h < 0,5$):

Ці автомобілі можуть працювати як на електротязі, так і на ДВЗ окремо або в комбінації. Це дозволяє значно знизити споживання палива та викиди шкідливих речовин. Приклади: Toyota Prius, з електродвигуном 53 кВт і ДВЗ 72 кВт, має $h \approx 0,42$; Ford Fusion Hybrid з електродвигуном 88 кВт і ДВЗ 129 кВт має $h \approx 0,41$.

4. Підключаємі гібриди (Plug-in Hybrid) ($h \geq 0,5$):

У таких автомобілях електродвигун має потужність, співставну або більшу за потужність ДВЗ, і може забезпечувати значний запас ходу на електротязі. Акумуляторна батарея заряджається від зовнішньої електромережі. Приклади: Chevrolet Volt, з електродвигуном 111 кВт і ДВЗ 63 кВт, має $h \approx 0,64$; BMW 330e з електродвигуном 83 кВт і ДВЗ 135 кВт має $h \approx 0,38$, але завдяки можливості зарядки від мережі відноситься до підключаємих гібридів.

5. Електромобілі з подовжувачем ходу (Range-Extended Electric Vehicle) ($h \approx 1$):

У цих транспортних засобах ДВЗ використовується виключно для генерації електроенергії, а рух забезпечується лише електродвигуном. Це практично електромобілі з додатковим генератором для збільшення запасу ходу. Приклад: BMW i3 REx, де електродвигун має потужність 125 кВт, а ДВЗ-генератор — 28 кВт, що дає $h \approx 0,82$.

Таблиця 1.1 – Класифікація та опис видів HEV

Energy Source	Vehicle Type	Propulsion Device
Gasoline Electricity Hydrogen	ICEV	Engine
	Micro HEV	Electric Motor
	Mild HEV	
	Full HEV	
	PHEV	
	REV	
	PEV	
	FCEV	

1.2 Сучасний стан і тенденції в електромобільності

Електромобільність стала одним із ключових напрямків глобальної стратегії зниження викидів парникових газів та боротьби зі зміною клімату. Різні світові та європейські законодавчі акти та проекти визначають дорожню карту подальшого розвитку електромобільності, встановлюючи цілі та механізми їх досягнення.

Паризька угода (2015) є однією з найважливіших глобальних ініціатив, підписаною 196 країнами. Вона ставить за мету утримати зростання глобальної середньої температури на рівні значно нижче 2°C вище доіндустріального рівня, прагнучи обмежити його до 1,5°C. Для досягнення цих цілей країни зобов'язуються скоротити викиди парникових газів, і транспортний сектор, як один із основних джерел викидів CO₂, є ключовим напрямком для зниження викидів. Це стимулює перехід до електромобільності на національних рівнях.

Європейський зелений курс (European Green Deal), прийнятий Європейською комісією у 2019 році, є стратегічною дорожньою картою для досягнення кліматичної нейтральності ЄС до 2050 року [3]. Одним із основних

елементів цієї стратегії є декарбонізація транспортного сектора. В рамках Зеленої угоди передбачено:

- Зниження викидів CO₂: Встановлення більш жорстких стандартів викидів для нових легкових автомобілів і фургонів. Зокрема, у червні 2022 року Європейський парламент підтримав пропозицію про досягнення нульових викидів для нових легкових автомобілів до 2035 року.

- Розвиток інфраструктури: Прийняття Регламенту щодо інфраструктури альтернативних видів палива (AFIR), який вимагає від держав-членів забезпечити мінімальну кількість зарядних станцій для електромобілів уздовж основних транспортних коридорів.

- Фінансові стимули: Запровадження фондів та програм, таких як Фонд справедливого переходу та Horizon Europe, для підтримки інновацій та впровадження екологічно чистих технологій у транспорті.

Пакет “Fit for 55” (2021) є частиною Європейського зеленого курсу і спрямований на зниження викидів парникових газів на 55% до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року. Для транспортного сектора це означає:

- Посилення стандартів викидів CO₂: Запропоновано скоротити викиди нових автомобілів на 55% до 2030 року та на 100% до 2035 року порівняно з рівнем 2021 року.

- Розширення системи торгівлі викидами (ETS) на транспортний сектор, що створює додаткові стимули для зниження викидів.

Міжнародний альянс “Зероemisійні транспортні засоби” (Zero Emission Vehicle Alliance, ZEV Alliance) об’єднує держави та регіони, які прагнуть прискорити впровадження електромобілів. Члени альянсу, включаючи Німеччину, Великобританію, Норвегію, Нідерланди та інші, зобов’язуються досягти 100% продажів нових легкових автомобілів з нульовими викидами до 2050 року або раніше.

Ініціатива “EV30@30”, запущена в рамках Міжнародного енергетичного агентства (IEA), ставить за мету досягти 30% частки електромобілів у глобальних продажах нових транспортних засобів до 2030 року. Ця ініціатива підтримується країнами G20 та сприяє співпраці у сфері політики, стандартів та інфраструктури для електромобільності.

Разом з глобальними проектами та законодавчими актами, низка провідних країн світу також всіляко регулюють і спонукають до переходу на електричні транспортні засоби. Німеччина є одним із лідерів у розвитку електромобільності

в Європі, впроваджуючи комплексні національні стратегії та плани для стимулювання цього сектора. Уряд країни запустив програму “Національна платформа з електромобільності” (Nationale Plattform Elektromobilität), яка ставить за мету досягти 10 мільйонів електромобілів на дорогах Німеччини до 2030 року. Для досягнення цієї мети уряд пропонує ряд фінансових стимулів:

- Екологічний бонус: Покупці електромобілів отримують субсидію до 9 000 євро для повністю електричних автомобілів та до 6 750 євро для гібридів, що підключаються.
- Податкові пільги: Електромобілі звільняються від податку на транспортні засоби на 10 років.
- Інвестиції в інфраструктуру: Планується встановити 1 мільйон зарядних станцій до 2030 року. Уряд виділяє кошти на розвиток громадських та приватних зарядних точок.

Крім того, Німеччина активно підтримує дослідження та розвиток технологій акумуляторів, електродвигунів та інфраструктури зарядки через програми фінансування та партнерства з промисловістю.

Китай є найбільшим ринком електромобілів у світі і має амбітні національні плани щодо їх подальшого розвитку. Програма “Made in China 2025” визначає електромобільність як один із пріоритетних секторів. Основні заходи включають:

- Субсидії та пільги: Уряд надає значні субсидії на придбання електромобілів, хоча вони поступово знижуються для стимулювання конкурентоспроможності.
- Квотна система для автовиробників: Виробники повинні мати певний відсоток виробництва електромобілів або купувати кредити у інших компаній.
- Розвиток інфраструктури: До кінця 2023 року Китай планує мати понад 4,8 мільйона зарядних станцій, забезпечуючи доступність зарядки по всій країні.
- Обмеження на ДВЗ: У великих містах, таких як Пекін і Шанхай, діють обмеження на реєстрацію нових автомобілів з ДВЗ, що стимулює населення переходити на електромобілі.

Норвегія є світовим лідером за часткою електромобілів у загальних продажах нових автомобілів, яка перевищує 80% [4]. Національна стратегія країни спрямована на повний перехід до транспортних засобів з нульовими викидами. Основні заходи включають:

- Податкові пільги: Електромобілі звільнені від податку на додану вартість (25%) та імпорتنих мит, що робить їх більш доступними.
- Пільги в експлуатації: Безкоштовне або знижене паркування, безкоштовний проїзд по платних дорогах та використання смуг для громадського транспорту.
- Цілі на законодавчому рівні: Заборона продажу нових автомобілів з ДВЗ з 2025 року.

Франція активно просуває електромобільність через національні плани та стратегії. План “Мобільність з низьким рівнем викидів” (Plan de Mobilité Propre) передбачає:

- Фінансові стимули: Бонус до 7 000 євро для покупців електромобілів та до 2 000 євро для гібридів, що підключаються.
- Програма обміну старих автомобілів: Додаткові виплати для тих, хто замінює старі автомобілі з високими викидами на електромобілі.
- Розвиток інфраструктури: Планується встановити 100 000 громадських зарядних станцій до 2025 року.
- Законодавчі цілі: Заборона продажу нових автомобілів з ДВЗ до 2040 року.

У США розвиток електромобільності стимулюється як на федеральному, так і на штатному рівнях [6]. Основні заходи включають:

- Федеральний податковий кредит: До 7 500 доларів США для покупців нових електромобілів, хоча є обмеження за кількістю проданих одиниць для кожного виробника.
- Програми штатів: Штати, такі як Каліфорнія, пропонують додаткові стимули, включаючи субсидії, податкові пільги та інвестиції в інфраструктуру.
- Законодавчі ініціативи: Адміністрація планує інвестувати 15 мільярдів доларів у розвиток мережі з 500 000 зарядних станцій до 2030 року.
- Цілі щодо електромобілів: У серпні 2021 року президент підписав указ, що встановлює мету досягти 50% продажів нових автомобілів з нульовими викидами до 2030 року.

Ці національні стратегії та плани демонструють серйозність намірів провідних країн щодо переходу на електромобільність. Вони включають комбінацію фінансових стимулів, інвестицій в інфраструктуру, законодавчих змін та підтримки досліджень і розвитку. Такі заходи сприяють збільшенню попиту на електромобілі, стимулюють інновації в галузі та сприяють

глобальному зниженню викидів парникових газів, що є критично важливим для боротьби зі зміною клімату.

Результати прийняття вищеописаних норм і законодавчих засад на рівні держав призвели до позитивної динаміки росту кількості транспортних засобів з електричним приводом у світі (рис. 1.2 та табл. 1.2).

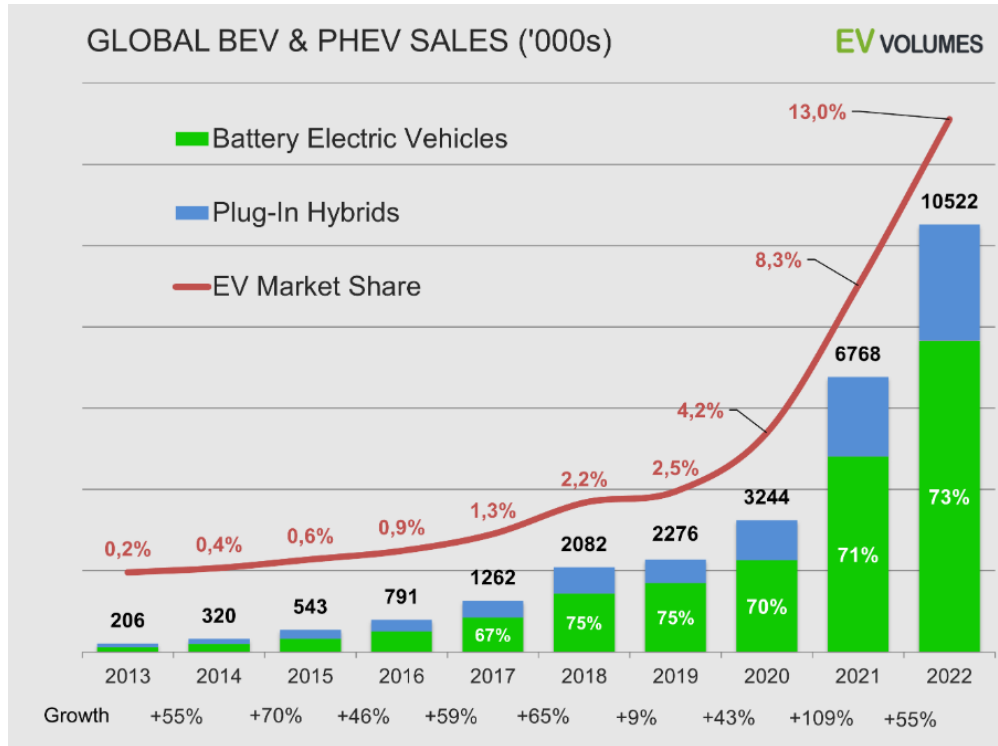


Рисунок 1.2. Динаміка кількості наявних транспортних засобів з електричним приводом у світі

Таблиця 1.2 – Продажі електромобілів у Європі станом на 2022 рік

#	Country		Unit sales	Revenue in mUS\$
1	Germany		464,292	US\$28,114.1
2	United Kingdom		267,171	US\$13,068.3
3	France		202,868	US\$12,586.1
4	Norway		138,187	US\$8,403.9
5	Sweden		94,458	US\$6,521.3
6	Netherlands		73,118	US\$4,470.0
7	Italy		49,407	US\$2,685.0
8	Switzerland		40,001	US\$2,147.2
9	Belgium		37,815	US\$2,418.0
10	Austria		33,768	US\$1,854.4

Станом на 2023 рік, продажі електромобілів у світі продовжують зростати значними темпами, підтверджуючи тенденцію до електрифікації транспортного сектора. За даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA), глобальні продажі електричних транспортних засобів (ЕТЗ) у 2023 році досягли 10 мільйонів одиниць, а прогнози на 2024 рік свідчать про подальше зростання до 14 мільйонів одиниць [7,8]. Це означає, що частка електромобілів у загальних продажах нових автомобілів у світі може перевищити 18%.

Китай залишається найбільшим ринком електромобілів у світі, складаючи приблизно 60% глобальних продажів. У першій половині 2023 року в Китаї було продано понад 6 мільйонів електромобілів, що на 35% більше, ніж за аналогічний період минулого року. Високий попит підтримується державними субсидіями, податковими пільгами та широким асортиментом доступних моделей від місцевих виробників, таких як BYD, NIO та Xpeng. Наприклад, компанія BYD стала світовим лідером за обсягами виробництва електромобілів, перевищивши 1,5 мільйона проданих одиниць у 2023 році.

У Європі продажі електромобілів продовжують зростати [9-11], завдяки суворішим екологічним нормам та державним стимулам. За перші шість місяців 2023 року в Європі було продано понад 2 мільйони електромобілів, що на 25% більше, ніж у 2022 році. Очікується, що до кінця року загальна кількість продажів перевищить 4 мільйони одиниць.

У Сполучених Штатах продажі електромобілів також демонструють значне зростання [12,13]. У 2024 році очікується продаж близько 1,8 мільйона електромобілів, що становить приблизно 12% від загального ринку нових автомобілів [14,15]. Tesla залишається домінуючим гравцем, з моделями Model 3 та Model Y, які складають значну частку продажів. Інші виробники, такі як Ford з моделлю Mustang Mach-E, General Motors з Chevrolet Bolt EV та Rivian зі своїми електричними пікапами, також збільшують свою присутність на ринку [16].

В Україні ринок електромобілів демонструє стійке зростання, хоча й залишається відносно невеликим порівняно з провідними країнами. Незважаючи на економічні та політичні виклики, інтерес до електромобільності в країні продовжує зростати.

За даними Української асоціації автомобільного бізнесу (УААБ), станом на першу половину 2024 року в Україні було зареєстровано понад 45 000 електромобілів. У порівнянні з 2023 роком, кількість електромобілів зросла приблизно на 25% (рис. 1.3).



Рисунок 1.3. Наявні транспортні засоби з електричним приводом в Україні станом на 2024 рік

Найбільш популярними моделями електромобілів в Україні є (рис. 1.4):

- Nissan Leaf: Залишається лідером ринку завдяки доступній ціні та наявності на вторинному ринку.
- Tesla Model S та Model 3: Популярні серед покупців, які шукають більш преміальні варіанти.
- Renault Zoe, Volkswagen та Hyundai Ioniq Electric: Набирають популярність завдяки поєднанню ціни та технічних характеристик.

Топ ввезених електрокарів

січень-травень 2024 року

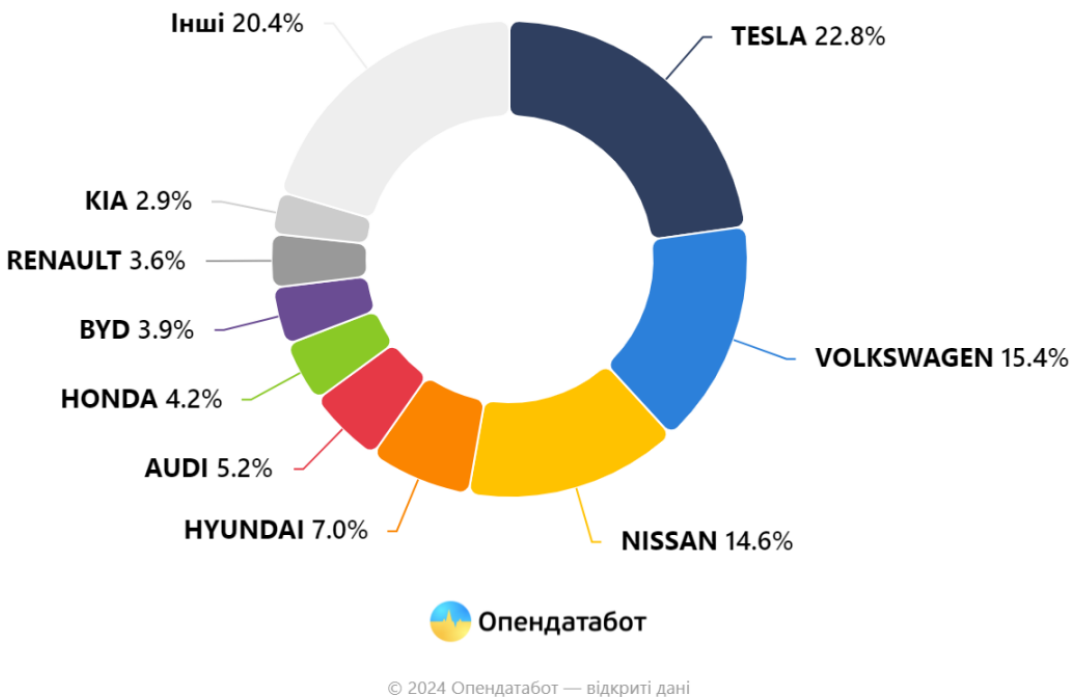


Рисунок 1.4. Популярні моделі електрокарів в Україні станом на 2024 рік

Уряд України запровадив звільнення від ПДВ та акцизного податку на імпорту електрокарів до кінця 2025 року, що знижує їх вартість для кінцевого споживача приблизно на 20%. Кількість зарядних станцій зростає, хоча їх щільність все ще недостатня. Станом на 2024 рік в Україні встановлено понад 2 000 громадських зарядних точок. У містах, таких як Київ, Львів та Одеса, діють програми стимулювання використання електрокарів, включаючи безкоштовне паркування та можливість користування смугами громадського транспорту. Глобальний тренд до електрифікації транспорту впливає на свідомість українських споживачів, підвищуючи інтерес до електрокарів.

1.3 Використання синхронних двигунів з постійними магнітами в електрокарів

Сучасні тенденції в електрокарів значною мірою залежать від вибору типу електродвигуна, який використовується для приводу транспортного засобу. Існує два основних типи електродвигунів, які застосовуються в електрокарів: двигуни постійного струму та двигуни змінного струму. Кожен

з цих типів має свої переваги та недоліки, що впливає на їх використання в конкретних застосуваннях.

Двигуни постійного струму раніше були широко використовувані в електротранспорті завдяки простоті керування та високому крутному моменту при низьких обертах. Основним представником цієї категорії є щіткові двигуни постійного струму. Вони мають просту конструкцію, але їх недоліками є високий рівень зношування щіток, необхідність регулярного обслуговування та порівняно низька ефективність. Через ці недоліки їх використання в сучасних електромобілях обмежене.

З розвитком технологій на зміну щітковим двигунам прийшли безщіткові двигуни постійного струму (BLDC). Ці двигуни мають вищу ефективність, меншу потребу в обслуговуванні та триваліший термін служби. BLDC-двигуни мають постійні магніти на роторі та електронне комутаційне керування, що дозволяє точно регулювати швидкість і крутний момент. Проте складність електронного керування та вартість постійних магнітів можуть бути недоліками в певних застосуваннях.

Двигуни змінного струму набули широкого поширення в сучасних електромобілях завдяки своїй ефективності та надійності. Основними типами є асинхронні (індукційні) двигуни та синхронні двигуни з постійними магнітами.

Асинхронні двигуни мають просту та міцну конструкцію, не потребують використання постійних магнітів, що знижує вартість та залежність від рідкісноземельних матеріалів. Вони добре підходять для високошвидкісних застосувань і можуть витримувати перевантаження. Проте їх недоліками є нижча ефективність порівняно з синхронними двигунами та складніша система керування. Tesla Model S та Model X у ранніх версіях використовували асинхронні двигуни завдяки їх високій потужності та надійності.

Синхронні двигуни з постійними магнітами (PMSM) стали найбільш поширеним вибором для сучасних електромобілів. Вони поєднують високу ефективність, компактні розміри та високий крутний момент при низьких обертах. Використання постійних магнітів у роторі дозволяє зменшити втрати енергії та покращити динамічні характеристики. Проте основним недоліком є висока вартість постійних магнітів та залежність від постачання рідкісноземельних елементів, таких як неодим і диспрозій. Nissan Leaf, BMW i3, Chevrolet Bolt EV та сучасні моделі Tesla Model 3 і Model Y використовують синхронні двигуни з постійними магнітами.

Переваги використання синхронних двигунів з постійними магнітами в електромобілях:

- Висока ефективність: Досягається коефіцієнт корисної дії понад 95%, що сприяє збільшенню запасу ходу.
- Високий крутний момент: Забезпечує швидке прискорення та покращує динаміку руху.
- Компактність і легкість: Менші розміри та вага в порівнянні з іншими типами двигунів при тій самій потужності.
- Точне керування: Можливість точного регулювання швидкості та моменту завдяки сучасним системам керування.

Недоліки:

- Висока вартість: Постійні магніти з рідкісноземельних матеріалів збільшують вартість двигуна.
- Залежність від постачання матеріалів: Ризики, пов'язані з постачанням рідкісноземельних елементів, можуть впливати на виробництво та вартість.
- Термічна нестабільність магнітів: При високих температурах властивості магнітів можуть погіршуватися, що вимагає ефективних систем охолодження.

Тенденції в розвитку електромобільних двигунів спрямовані на пошук альтернативних матеріалів для постійних магнітів або на розробку нових типів двигунів, які не використовують рідкісноземельні елементи. Наприклад, двигуни з перемикаючим потоком (Switched Reluctance Motors) та індукційні двигуни без постійних магнітів розглядаються як перспективні напрямки. Виробники також інвестують у дослідження щодо зменшення кількості необхідних рідкісноземельних матеріалів або використання більш доступних замінників.

Таким чином, вибір типу електродвигуна в електромобілях залежить від балансу між вартістю, ефективністю, динамічними характеристиками та наявністю матеріалів. Синхронні двигуни з постійними магнітами на сьогодні є найбільш поширеним рішенням завдяки своїм перевагам.

Використання синхронних двигунів з постійними магнітами в мотор-колесах відкриває нові можливості для дизайну та функціональності електромобілів. Мотор-колесо — це електродвигун, інтегрований безпосередньо в колесо транспортного засобу. Завдяки високій ефективності та щільності потужності PMSM, вони ідеально підходять для такої інтеграції. Прямий привід колеса усуває потребу в механічних передачах, редукторах та диференціалах, що знижує втрати енергії та підвищує надійність. Кожне колесо може керуватися

незалежно, що дозволяє реалізувати складні алгоритми контролю тяги, стабільності та активної безпеки. Відсутність традиційної трансмісії звільняє місце в салоні або для батарей, а конструкція транспортного засобу може бути адаптована під різні вимоги без обмежень, накладених традиційними механічними компонентами.

Однак використання мотор-колес має й свої виклики. Збільшення маси колеса може негативно вплинути на комфорт та керованість через підвищену невідпружовану масу. Розміщення двигуна в колесі вимагає ефективних систем охолодження для відведення тепла, а також надійної ізоляції та захисту від впливу пилу, вологи та механічних ударів.

Приклади застосування мотор-колес на базі PMSM включають розробки компаній Protean Electric, Michelin Active Wheel та електромобіль Lightyear One (рис. 1.5). Ці проекти демонструють потенціал мотор-колес у покращенні ефективності та функціональності електромобілів.

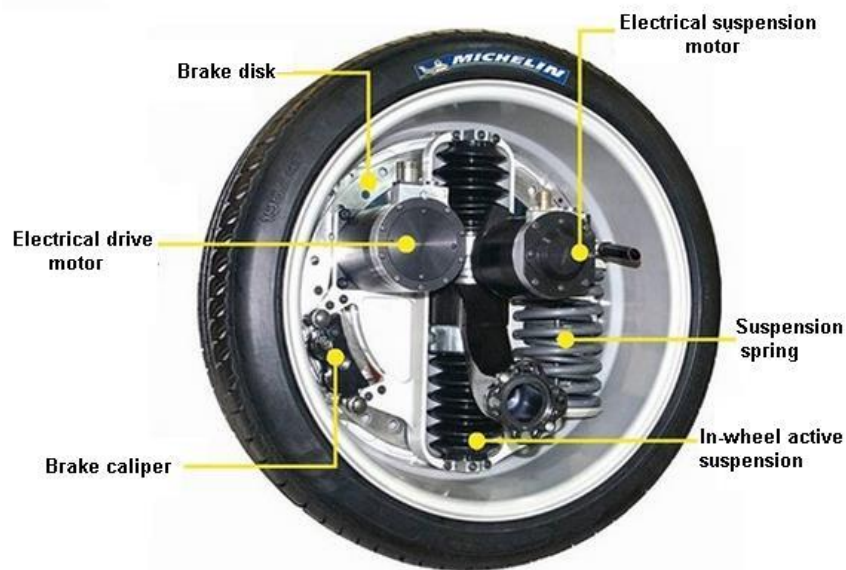


Рисунок 1.5. Мотор-колесо Michelin Active Wheel

Синхронні двигуни з постійними магнітами (PMSM) стали найбільш поширеним вибором для електромобілів завдяки поєднанню високої ефективності, компактних розмірів та відмінних динамічних характеристик. Вони забезпечують коефіцієнт корисної дії понад 95% у широкому діапазоні навантажень і швидкостей, що сприяє збільшенню запасу ходу електромобіля та зменшенню енергоспоживання. Використання постійних магнітів у роторі дозволяє PMSM забезпечувати високу потужність при відносно малих розмірах та вазі, що є критичним для транспортних засобів. Крім того, вони здатні

генерувати високий пусковий момент, що покращує динаміку розгону та відповідає вимогам міського руху. Конструкція PMSM сприяє тихій роботі, підвищуючи комфорт пасажирів, а сучасні системи керування дозволяють точно регулювати швидкість та крутний момент двигуна, покращуючи ефективність та безпеку.

Синхронні двигуни з постійними магнітами можна класифікувати за розташуванням та типом магнітів у роторі (рис. 1.6.). Один із типів — поверхнево-магнітні синхронні двигуни, де постійні магніти кріпляться на поверхні ротора. Вони мають просту конструкцію ротора, високу магнітну індукцію та низький рівень пульсацій крутного моменту. Однак магніти піддаються відцентровим силам і можуть відокремлюватися при високих швидкостях, що вимагає додаткового кріплення.

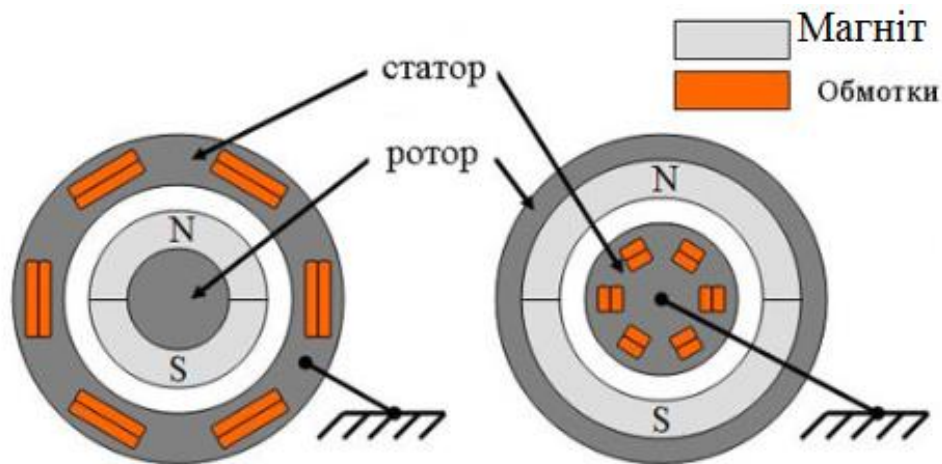


Рисунок 1.5. Типи конструкцій синхронних двигунів з постійними магнітами

Інший тип — вбудовані магнітні синхронні двигуни, у яких постійні магніти розміщені всередині ротора в спеціальних пазах. Це забезпечує захист магнітів від механічних навантажень і дозволяє ротору витримувати високі швидкості обертання без ризику пошкодження. Такі двигуни мають покращені механічні властивості та можуть використовувати реактивний крутний момент, що підвищує ефективність при високих швидкостях. Недоліком є складніша конструкція ротора та вища вартість виготовлення.

Існують також двигуни з магнітами в пазах, де магніти встановлюються у заглиблення на поверхні ротора, частково занурюючись у сталевий ротор. Вони поєднують простоту конструкції з кращою механічною фіксацією магнітів, але менш ефективно використовують магнітний потік порівняно з іншими типами. Двигуни з осьовим магнітним потоком мають компактну конструкцію по

довжині та високу щільність потужності, що підходить для інтеграції у вузькі простори, але їх виробництво є складнішим і дорожчим.

Однією з найпоширеніших моделей синхронних двигунів з постійними магнітами (PMSM), яка широко використовується в електротранспорті, є мотор QS Motor 3000W 138 70H від компанії QS Motor. QS Motor 3000W 138 70H — це високоефективний PMSM двигун, призначений для використання в електроскутерах, електромотоциклах, квадроциклах та легких електромобілях. Цей двигун поєднує компактність, високу потужність та надійність, що робить його популярним вибором серед виробників і ентузіастів електротранспорту.

Модель QS Motor 3000W 138 70H має номінальну потужність 3 000 Вт, з можливістю досягнення максимальної потужності до 8 000 Вт. Двигун працює при номінальній напрузі 72 В, але підтримує широкий діапазон напруги живлення від 48 В до 96 В, що забезпечує гнучкість у виборі акумуляторної системи. Номінальний струм становить 55 А.

Максимальний крутний момент двигуна складає 45 Н·м у номінальному режимі та може досягати до 120 Н·м у піковому режимі, що забезпечує високу динаміку та здатність до швидкого прискорення. Максимальна швидкість обертання ротора становить 5 000 об/хв. Коефіцієнт корисної дії двигуна досягає до 93%, що сприяє ефективному використанню енергії та збільшенню запасу ходу транспортного засобу.

Двигун має повітряне охолодження і важить приблизно 11 кг, що дозволяє зберігати легкість конструкції транспортного засобу. Габаритні розміри включають діаметр 138 мм та довжину 70 мм, що робить двигун компактным і зручним для інтеграції в різні конструкції. Ступінь захисту IP54 забезпечує захист від пилу та бризок води, підвищуючи надійність та довговічність двигуна в різних умовах експлуатації.

Модель QS Motor 3000W 138 70H відзначається рядом переваг, які роблять її привабливим вибором для використання в електротранспорті. По-перше, висока ефективність двигуна з коефіцієнтом корисної дії до 93% сприяє зменшенню енергоспоживання та збільшенню запасу ходу. По-друге, висока потужність та крутний момент забезпечують швидке прискорення та високу максимальну швидкість, що є важливим для динамічного руху в міських умовах та на трасі.

Компактність та легкість двигуна, з вагою близько 11 кг та невеликими габаритами, дозволяють легко інтегрувати його в різні конструкції транспортних

засобів без значного збільшення маси. Надійність та довговічність забезпечуються використанням високоякісних матеріалів та ретельним виготовленням, що гарантує тривалий термін служби та стійкість до зношування.

Гнучкість у застосуванні напруги живлення, завдяки підтримці діапазону від 48 В до 96 В, дозволяє налаштовувати систему під конкретні потреби та можливості акумуляторної батареї. Сумісність з різними контролерами спрощує інтеграцію та налаштування системи керування. Крім того, ступінь захисту IP54 означає, що двигун захищений від пилу та бризок води, що підвищує його надійність в різних умовах експлуатації.

Висновки до розділу

Перехід на електродвигуни в автомобілях є перспективним з кількох причин. По-перше, електромобілі сприяють зниженню викидів шкідливих речовин в атмосферу, що позитивно впливає на екологію та здоров'я населення. По-друге, використання електродвигунів дозволяє зменшити залежність від викопних паливних ресурсів, сприяючи енергетичній безпеці та сталому розвитку. Електродвигуни відзначаються високою ефективністю, низькими експлуатаційними витратами та покращеною динамікою руху, що підвищує комфорт та економічність транспортних засобів.

Для реалізації переходу легкового автомобіля на електричну тягу з гібридизацією необхідно вирішити ряд задач у наступних розділах:

- слід вибрати відповідний транспортний засіб, враховуючи його технічні характеристики та можливості для переобладнання.
- потрібно виконати розрахунок та вибір електродвигуна, який відповідатиме вимогам щодо потужності, ефективності та сумісності з існуючою конструкцією автомобіля.
- необхідно розрахувати та обрати акумуляторну батарею, яка забезпечить достатній запас енергії та відповідатиме параметрам електродвигуна.
- слід здійснити розрахунок і вибір силової частини автомобіля, включаючи контролери, конденсатори та інші компоненти, що забезпечать стабільну та ефективну роботу гібридної системи.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

Renault Logan — популярний легковий автомобіль класу В, відомий своєю надійністю, доступністю та практичністю. Він виробляється французькою компанією Renault з 2004 року і представлений на багатьох ринках світу [17], включаючи Україну. За час свого існування модель пройшла кілька оновлень і має декілька поколінь, які відрізняються дизайном, технічними характеристиками та оснащенням.

Перше покоління (2004–2012) Renault Logan було розроблено з акцентом на доступність та простоту. Автомобіль пропонувався з різними варіантами двигунів та комплектацій. Доступні були бензинові двигуни об'ємом 1.4 л потужністю 75 к.с., 1.6 л з 87 к.с. та 1.6 л 16V з 105 к.с., а також дизельні двигуни 1.5 л dCi потужністю від 65 до 85 к.с. Трансмісія представлена 5-ступеневою механічною коробкою передач, а кузов виконаний у формі седана.

Друге покоління (2012–2020) отримало оновлений дизайн, покращений інтер'єр та розширений список обладнання. Серед бензинових двигунів були доступні варіанти 1.0 л з 73 к.с., 1.2 л з 75 к.с., 1.6 л з 82 к.с. та 1.6 л 16V з 102 к.с. Дизельні двигуни представлені 1.5 л dCi потужністю від 75 до 90 к.с. Трансмісія включає 5-ступеневу механічну та 4-ступеневу автоматичну коробки передач. Кузов доступний у версії седан, а на деяких ринках також у вигляді універсалу під назвою Logan MCV.

Третє покоління (з 2020 року) Renault Logan було представлено у 2020 році з повністю оновленим дизайном, сучасними технологіями та покращеною ефективністю. Двигуни включають бензинові 1.0 л SCe з 65 к.с., 1.0 л TCe з 90 к.с. та 1.0 л TCe LPG з 100 к.с. Дизельні двигуни в цьому поколінні вже не пропонуються. Трансмісія представлена 5- або 6-ступеневою механічною коробкою передач, а також безступеневою автоматичною трансмісією CVT. Кузов виконується у формі седана.

Для подальших розрахунків була обрана остання модель Renault Logan третього покоління з бензиновим двигуном 1.0 л TCe потужністю 90 к.с. та 6-ступеневою механічною коробкою передач. Вибір саме цієї моделі обумовлений кількома причинами. По-перше, останнє покоління оснащене сучасними двигунами та електронними системами, що полегшує інтеграцію гібридної системи та відповідає актуальним стандартам. По-друге, двигун 1.0 л TCe є економічним та має низькі викиди CO₂, що узгоджується з метою зниження

екологічного впливу. По-третє, покращена аеродинаміка та знижена маса автомобіля сприяють підвищенню ефективності електродвигуна та зменшенню енергоспоживання. Нарешті, сучасна електронна архітектура автомобіля спрощує інтеграцію електродвигуна та управління гібридною системою.

2.1 Розрахунок та вибір електродвигуна

2.1.1 Розрахунок електродвигуна

Для подальшого розрахунку та вибору електродвигуна для гібридизації необхідно визначити основні технічні параметри обраного автомобіля Renault Logan третього покоління з двигуном 1.0 л TCe (90 к.с.) та 6-ступеневою механічною коробкою передач [18].

Максимальна маса автомобіля M становить 1 480 кг. Це значення включає власну масу автомобіля та максимальну допустиму вантажопідйомність, що є важливим для розрахунку потужності та енергії, необхідних для приводу автомобіля.

Довжина автомобіля L дорівнює 4 396 мм. Цей параметр впливає на аеродинамічні характеристики та маневреність транспортного засобу, що необхідно враховувати при гібридизації.

Ширина автомобіля зі складеними дзеркалами B становить 1 733 мм. Ця величина використовується при розрахунку лобової площі автомобіля, яка визначає опір повітря під час руху.

Висота автомобіля H складає 1 517 мм. Висота впливає на центр ваги та аеродинамічний опір, що важливо для стабільності та ефективності автомобіля.

Загальне передатне число на п'ятій передачі i_v , становить 4,09. Це значення отримується шляхом множення передатного числа п'ятої передачі в коробці передач на передатне число головної передачі диференціалу. Воно необхідне для визначення швидкості автомобіля при заданих обертах двигуна та розрахунку необхідного крутного моменту.

Діаметр колеса D_k дорівнює 0,634 м. Це відповідає розміру шин 185/65 R15, встановлених на цю модель. Діаметр колеса впливає на передачу крутного моменту до дорожнього покриття та на розрахунки кінематичних параметрів.

Максимальна лінійна швидкість автомобіля $V_{\max}$ становить 175 км/год. Це максимальна швидкість, яку може досягти автомобіль з даним двигуном і трансмісією, і вона важлива для визначення потужності електродвигуна, необхідної для забезпечення аналогічних характеристик.

Час розгону до 100 км/год t_{100} складає 12,5 с. Цей показник характеризує динаміку розгону автомобіля і використовується при розрахунку необхідного прискорення та крутного моменту електродвигуна для досягнення бажаних показників.

В таблиці 2.1 зведені основні технічні параметри автомобіля, що будуть викоистовуватись в подальших розрахунках.

Таблиця 2.1 – Технічні параметри легкового автомобіля Renault Logan третього покоління

Параметр	Значення
Максимальна маса автомобіля M	1480 кг
Довжина автомобіля L	4396 мм
Ширина автомобіля зі складеними дзеркалами B	1733 мм
Висота автомобіля H	1517 мм
Загальне передатне число на п'ятій передачі i_v	4,09
Діаметр колеса D_k	0,634 м
Максимальна лінійна швидкість автомобіля V_{max}	175 км/год
Час розгону до 100 км/год t_{100}	12,5 с

Для вибору відповідного електродвигуна для гібридної системи необхідно визначити параметри, які забезпечать потрібну динаміку руху автомобіля. Розрахунок базується на визначенні тягового зусилля, необхідного для подолання опорів руху та забезпечення необхідного прискорення.

Під час руху на автомобіль діють різні сили, такі як сила опору коченню, сила аеродинамічного опору, сила опору підйому (якщо рух відбувається по нахиленій поверхні) та сила інерції при розгоні.

Спочатку визначимо лобову площу автомобіля. Переведемо ширину $B=1733$ мм та висоту $H=1,517$ мм в метри:

$$B = 1,733 \text{ м}, H = 1,517 \text{ м} \quad (2.1)$$

Лобова площа A розраховується за формулою:

$$A = B \cdot H \cdot \varphi \quad (2.2)$$

де φ – коефіцієнт, що враховує форму кузова (приймаємо $\varphi = 0,85$). Тоді:

$$A = 1,733\text{м} \cdot 1,517\text{м} \cdot 0,85 = 2,23 \text{ м}^2 \quad (2.3)$$

Коефіцієнт аеродинамічного опору для легкових автомобілів типу седан середнього класу приймаємо як $C_x = 0,32$. Коефіцієнт опору коченню для асфальтованого покриття становить $f_k = 0,015$.

Еквівалентну масу з урахуванням обертових мас розраховуємо за допомогою коефіцієнта $\delta = 0,05$:

$$M_{\text{екв}} = M \cdot (1 + \delta) = 1480\text{кг} \cdot (1 + 0,05) = 1554\text{кг} \quad (2.4)$$

Переведемо максимальну швидкість автомобіля в метри за секунду:

$$V_{\text{max}} = 175\text{км/год} = \frac{175\text{км/год} \cdot 1000\text{м/км}}{3600\text{с/год}} = 48,61\text{м/с} \quad (2.5)$$

Сила опору коченню обчислюється як:

$$F_k = M \cdot g \cdot f_k = 1480\text{кг} \cdot \frac{9,81\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0,015 = 217,84\text{Н} \quad (2.6)$$

Сила аеродинамічного опору визначається за формулою:

$$F_a = 1/2 \cdot \rho \cdot C_x \cdot A \cdot V_{\text{max}}^2 \quad (2.7)$$

де $\rho = 1,225\text{кг/м}^3$ – густина повітря. Підставляючи значення, отримаємо:

$$F_a = 1/2 \cdot 1,225\text{кг/м}^3 \cdot 0,32 \cdot 2,23 \text{ м}^2 \cdot (48,61\text{м/с})^2 = 1040\text{Н} \quad (2.8)$$

Загальне тягове зусилля при постійному русі з максимальною швидкістю:

$$F_T = F_k + F_a = 217,84\text{Н} + 1040\text{Н} = 1257,84\text{Н} \quad (2.9)$$

Переведемо швидкість 100 км/год в метри за секунду:

$$V = 100\text{км/год} = \frac{100\text{км/год} \cdot 1000\text{м/км}}{3600\text{с/год}} = 27,78\text{м/с} \quad (2.10)$$

Прискорення обчислюємо як:

$$a = \frac{V}{t_{100}} = \frac{27,78\text{м/с}}{12,5\text{с}} = 2,22\text{м/с}^2 \quad (2.11)$$

Сила інерції при розгоні:

$$F = M_{\text{екв}} \cdot a = 1554\text{кг} \cdot \frac{2,22\text{м}}{\text{с}^2} = 3449\text{Н} \quad (2.12)$$

Сила опору коченню залишається незмінною:

$$F_k = 217,84\text{Н} \quad (2.13)$$

Сила аеродинамічного опору при цій швидкості:

$$F_a = 1/2 \cdot 1,225\text{кг/м}^3 \cdot 0,32 \cdot 2,23 \text{ м}^2 \cdot (27,78\text{м/с})^2 = 338,9\text{Н} \quad (2.14)$$

Загальне тягове зусилля при розгоні:

$$F_T = F_k + F_a + F = 217,84H + 338,9H + 3449H = 4005,74H \quad (2.15)$$

Середню швидкість під час розгону приймаємо як половину від максимальної:

$$V_{cp} = \frac{V}{2} = \frac{27,78\text{м/с}}{2} = 13,89\text{м/с} \quad (2.16)$$

Необхідна потужність для розгону визначається як:

$$P = F_T \cdot V_{cp} = 4005,74H \cdot 13,89\text{м/с} = 55,66\text{кВт} \quad (2.17)$$

Крутний момент на колесах обчислюємо за формулою:

$$T_k = F_t \cdot r_k \quad (2.18)$$

де радіус колеса $r_k = 0,317\text{м}$. Тоді:

$$T_k = 4005,74H \cdot 0,317\text{м} = 1270\text{Н} \cdot \text{м} \quad (2.19)$$

Крутний момент на валу електродвигуна:

$$T_e = \frac{T_k}{i_v} = \frac{1270\text{Н} \cdot \text{м}}{4,09} = 310\text{Н} \cdot \text{м} \quad (2.20)$$

Кутова швидкість колеса:

$$\omega_k = \frac{V_{cp}}{r_k} = \frac{13,89\text{м/с}}{0,317\text{м}} = 43,81\text{рад/с} \quad (2.21)$$

Кутова швидкість електродвигуна:

$$\omega_e = \omega_k \cdot i_v = 43,81\text{рад/с} \cdot 4,09 = 179,2\text{рад/с} \quad (2.22)$$

Переведемо кутову швидкість в оберти за хвилину:

$$n_e = \frac{\omega_e \cdot 60}{2\pi} = \frac{179,2\text{рад/с} \cdot 60}{6,2832} = 1711\text{об/хв} \quad (2.23)$$

Для забезпечення розгону автомобіля до 100 км/год за 12,5 с необхідний електродвигун, який може розвивати потужність не менше 55,66 кВт, крутний момент на валу не менше 310 Н·м, та працювати в діапазоні обертів до 5,000 об/хв для забезпечення максимальної швидкості.

2.1.2 Вибір електродвигуна

З урахуванням проведених розрахунків, оптимальним вибором є синхронний двигун з постійними магнітами (PMSM) з такими параметрами:

- Номінальна потужність: 60 кВт;
- Максимальний крутний момент: 320 Н·м;
- Номінальний крутний момент: 200 Н·м;
- Максимальні оберти: 6,000 об/хв;
- Коефіцієнт корисної дії (ККД): понад 90%.

Такий електродвигун забезпечить необхідну динаміку, ефективність та надійність для гібридної системи автомобіля.

На основі виконаних розрахунків та з урахуванням необхідних параметрів, пропонується використати модель синхронного двигуна з постійними магнітами YASA P400 R [19] для гібридизації автомобіля Renault Logan.

Двигун YASA P400 R є високоефективним аксіально-потоким PMSM, спеціально розробленим для застосування в автомобільній промисловості, включаючи гібридні та електричні транспортні засоби. Цей двигун відповідає та перевищує розраховані параметри, забезпечуючи необхідну потужність і крутний момент для досягнення бажаної динаміки автомобіля (табл. 2.2):

- Висока щільність крутного моменту

Максимальний крутний момент 370 Н·м та номінальний 200 Н·м перевищують розрахункове значення 310 Н·м, що забезпечує швидке прискорення та ефективний розгін.

- Достатня потужність

Номінальна потужність 75 кВт та пікова 140 кВт значно перевищують необхідні 60 кВт, що гарантує надійну роботу в різних режимах експлуатації.

- Компактність та легкість

Завдяки аксіально-потоким конструкції, двигун має малу вагу (25 кг) та компактні розміри, що спрощує інтеграцію в автомобіль без значного збільшення маси.

- Висока ефективність

Коефіцієнт корисної дії понад 95% сприяє зниженню енергоспоживання та збільшенню запасу ходу.

- Надійність та репутація виробника

Компанія YASA відома своїми інноваційними рішеннями в галузі електродвигунів, що забезпечує якість та довговічність продукту.

Таблиця 2.2 – Технічні параметри двигуна YASA P400 R

Параметр	Значення
Номінальна потужність	75 кВт
Пікова потужність	140 кВт
Номінальний крутний момент	200 Н·м
Піковий крутний момент	370 Н·м

Максимальна швидкість	7 000 об/хв
Напруга живлення	450 В постійного струму
Коефіцієнт корисної дії (ККД)	>95%
Маса	25 кг
Габаритні розміри	Діаметр: 360 мм, Товщина: 70 мм

Вибір двигуна YASA P400 R обумовлений його відповідністю необхідним параметрам потужності та крутного моменту, високою ефективністю та компактністю. Цей двигун забезпечить необхідну динаміку та надійність для гібридної системи Renault Logan, сприяючи досягненню поставлених цілей щодо зниження викидів та підвищення енергоефективності.

2.2 Розрахунок тягової АКБ гібриду

Для забезпечення роботи обраного електродвигуна YASA P400 R необхідно розрахувати параметри тягової акумуляторної батареї (АКБ) на основі технології LiFePO₄ (літій-залізо-фосфат) [20]. Ця технологія відзначається високою безпекою, тривалим терміном служби та стабільною роботою при різних температурах, що робить її оптимальним вибором для гібридних та електричних транспортних засобів. Визначимо основні вимоги до тягової АКБ:

1. Напруга живлення електродвигуна

Електродвигун YASA P400 R працює при номінальній напрузі 450 В постійного струму. Отже, акумуляторна батарея повинна забезпечувати напругу в цьому діапазоні. З урахуванням падіння напруги при розряді та необхідності запасу, оптимально спроектувати батарею з номінальною напругою близько 460 В.

2. Максимальний струм розряду

Максимальна потужність електродвигуна становить 140 кВт. Тому максимальний струм, який повинна забезпечити батарея, розраховується за формулою:

$$I_{\max} = \frac{P_{\max}}{U_{\text{ном}}} \quad (2.24)$$

де:

- $P_{\max}=140\,000$ Вт – максимальна потужність двигуна;

- $U_{ном}=460$ В – номінальна напруга батареї.

Підставляємо значення:

$$I_{max} = \frac{140\,000\text{ Вт}}{460\text{ В}} \approx 304\text{ А}$$

Таким чином, батарея повинна бути здатна видавати струм до 304 А у піковому режимі.

Для гібридного автомобіля запас ходу на електротязі може становити від 20 до 50 км. Визначимо необхідну ємність батареї для забезпечення запасу ходу 40 км.

Середнє енергоспоживання електромобілів становить приблизно 15 кВт·год/100 км для легкових автомобілів. Враховуючи додаткову масу та опори гібридного автомобіля, прийmemo енергоспоживання 16 кВт·год/100 км.

Необхідна енергія для запасу ходу 40 км:

$$E_{необх} = \frac{16\text{ кВт/год}}{100\text{ км}} 40\text{ км} = 6,4\text{ кВт/год} \quad (2.25)$$

Додамо резервну ємність на випадок зниження ємності батареї з часом та для збереження робочого діапазону заряду (від 10% до 90%), що відповідає коефіцієнту використання 0,8.

Тоді загальна ємність батареї:

$$C_{батар} = \frac{E_{необх}}{0,8} = 8\text{ кВт/год} \quad (2.26)$$

Таким чином, необхідна ємність батареї становить 8 кВт·год.

Далі виберемо акумуляторні елементи для батареї. Для побудови батареї оберемо стандартні акумуляторні елементи формату LiFePO₄ 3,2 В 50 А·год. Основні характеристики таких елементів:

- Номінальна напруга: 3,2 В
- Номінальна ємність: 50 А·год
- Максимальний безперервний струм розряду: 1С (50 А)
- Максимальний піковий струм розряду: 2С (100 А) протягом 10 секунд
- Розміри: приблизно 135 мм × 45 мм × 160 мм
- Маса: приблизно 1,5 кг
- Вартість одного елемента: близько 50 доларів США

Розглянемо варіанти з'єднання елементів у батареї:

- 1) Послідовне з'єднання

Для досягнення номінальної напруги батареї 460 В необхідно з'єднати певну кількість елементів послідовно. Кількість елементів у послідовності N_s обчислюється як:

$$N_s = \frac{U_{\text{ном}}}{U_{\text{ел}}} \quad (2.27)$$

де:

- $U_{\text{ном}}=460$ В – номінальна напруга батареї;
- $U_{\text{ел}}=3,2$ В – номінальна напруга одного елемента.

Підставляємо значення:

$$N_s = \frac{460 \text{ В}}{3,2 \text{ В}} \approx 143,75 \quad (2.28)$$

Оскільки кількість елементів має бути цілим числом, приймаємо $N_s=144$.

Перевіримо фактичну напругу батареї:

$$U_{\text{батареї}} = N_s \times U_{\text{ел}} = 144 \times 3,2 \text{ В} = 460,8 \text{ В} \quad (2.29)$$

2) Паралельне з'єднання

Максимальний безперервний струм одного елемента становить 50 А, а піковий — 100 А. Необхідно забезпечити максимальний струм батареї 304 А.

Кількість паралельних гілок N_p обчислюється як:

$$N_p = \frac{I_{\text{мах}}}{I_{\text{ел піковий}}} \quad (2.30)$$

Де:

- $I_{\text{мах}}=304$ А – максимальний струм батареї;
- $I_{\text{ел піковий}}=100$ А – піковий струм одного елемента.

Підставляємо значення:

$$N_p = \frac{304 \text{ А}}{100 \text{ А}} = 3,04 \quad (2.31)$$

Приймаємо $N_p=4$ (для запасу по струму).

Загальна кількість елементів

$$N_{\text{заг}} = N_s \times N_p = 144 \times 4 = 576 \quad (2.32)$$

Загальна ємність батареї

Загальна ємність батареї $C_{\text{батареї}}$:

$$C_{\text{батар}} = C_{\text{ел}} N_p = 200 \text{ год} \quad (2.33)$$

Перевіримо загальну енергію батареї:

$$E_{\text{батар}} = C_{\text{батар}} U_{\text{батар}} = 92,16 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (2.34)$$

Це значно більше, ніж необхідні 8 кВт·год. Очевидно, що така батарея занадто велика і дорога для нашого застосування.

Оскільки гібридний автомобіль не потребує великого запасу енергії, а максимальний струм розряду можна забезпечити іншими способами (наприклад, використовуючи суперконденсатори або системи керування енергоспоживанням), можна переглянути вимоги до батареї.

Спробуємо прийняти $N_p=1$, тобто використовувати лише одну гілку елементів у послідовності.

Максимальний піковий струм батареї буде:

$$I_{\text{піковий}} = I_{\text{ел піковий}} = 100 \text{ А} \quad (2.35)$$

Це менше, ніж необхідні 304 А. Проте, в гібридному режимі електродвигун може працювати спільно з двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ), і пікові навантаження покриватимуться за рахунок сумарної потужності обох двигунів.

Припустимо, що електродвигун буде використовуватися для допомоги ДВЗ під час розгону та в міських режимах, а максимальну потужність 140 кВт він буде розвивати рідко.

Тоді можна прийняти, що максимальний струм батареї становитиме 100 А, а пікові навантаження компенсуються за рахунок ДВЗ.

Тоді ємність батареї при $N_p=1$ становитиме:

$$C_{\text{батар}} = 50 \text{ год} \quad (2.36)$$

Загальна енергія батареї:

$$E_{\text{батар}} = C_{\text{батар}} U_{\text{батар}} = 23,04 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (2.37)$$

Це вже ближче до необхідних 8 кВт·год, хоча все ще більше.

Пропонуємо використати акумуляторні елементи CALB LiFePO₄ 3,2 В 50 А·год, які відзначаються високою якістю та надійністю.

Основні характеристики елементів CALB 50 А·год:

- Номінальна напруга: 3,2 В
- Номінальна ємність: 50 А·год
- Максимальний безперервний струм розряду: 1С (50 А)
- Максимальний піковий струм розряду: 3С (150 А) протягом 30 секунд
- Розміри: 148 мм × 43 мм × 115 мм
- Маса: 1,6 кг

- Вартість одного елемента: приблизно 60 доларів США

Загальна кількість елементів:

$$N_{\text{заг}} = N_s \times N_p = 144 \times 1 = 144 \quad (2.38)$$

Загальна ємність батареї:

$$C_{\text{батар}} = 50 \text{ год} \quad (2.39)$$

Загальна енергія батареї:

$$E_{\text{батар}} = 23,04 \text{ кВт/год} \quad (2.40)$$

Загальна вартість батареї:

$$\text{Вартість} = N_{\text{заг}} \times \text{ціна за елемент} = 144 \times 60 \text{ дол. США} = 8\,640 \text{ дол. США} \quad (2.41)$$

Загальна маса батареї:

$$\text{Маса} = N_{\text{заг}} \times \text{маса елемента} = 144 \times 1,6 \text{ кг} = 230,4 \text{ кг} \quad (2.42)$$

Розрахована акумуляторна батарея на основі елементів CALB LiFePO₄ 3,2 В 50 А·год з напругою 460,8 В, ємністю 50 А·год та загальною енергією 23,04 кВт·год [21] задовольняє вимоги до напруги та струму для обраного електродвигуна. Хоча ємність батареї більша за необхідні 8 кВт·год, це забезпечить менші глибини розряду, триваліший термін служби та можливість використання електротяги на більшу відстань. Загальна вартість батареї становить приблизно 8 640 доларів США, а маса — 230,4 кг.

2.3 Вибір і розрахунок силових конденсаторів

Суперконденсатори, також відомі як ультраконденсатори або іоністори, є електрохімічними пристроями з високою ємністю та здатністю швидко заряджатися та розряджатися. Вони поєднують властивості традиційних конденсаторів та акумуляторів, забезпечуючи високу щільність потужності та тривалий термін служби з мільйонами циклів зарядки-розрядки.

У гібридних транспортних засобах суперконденсатори можуть працювати в парі з акумуляторною батареєю, забезпечуючи:

- Покриття пікових навантажень: Під час різких прискорень суперконденсатори віддають енергію швидше, знімаючи навантаження з акумулятора та подовжуючи його термін служби.
- Рекуперацію енергії гальмування: Вони здатні швидко приймати енергію, що виділяється при гальмуванні, зменшуючи втрати та підвищуючи ефективність системи.

- Зниження розмірів акумулятора: Використання суперконденсаторів дозволяє зменшити необхідну ємність акумуляторної батареї, що знижує вагу та вартість системи.

Під час пікового розгону автомобіль може вимагати додаткову потужність, яку забезпечать суперконденсатори. Раніше було визначено, що максимальна потужність електродвигуна становить 140 кВт.

Припустимо, що суперконденсатори повинні забезпечувати приблизно 40% від цієї потужності під час пікових навантажень:

$$P_{\text{супер}} = 0,4 \times 140 \text{ кВт} = 56 \text{ кВт} \quad (2.43)$$

При номінальній напрузі системи 460 В, максимальний струм, який повинні забезпечувати суперконденсатори:

$$I_{\text{супер макс}} = \frac{P_{\text{супер}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{56\,000 \text{ Вт}}{460 \text{ В}} \approx 121,74 \text{ А} \quad (2.44)$$

Для покриття пікових навантажень протягом короткого часу, наприклад, 10 секунд, необхідна енергія:

$$E_{\text{супер}} = P_{\text{супер}} t = 56 \text{ кВт} \cdot 10 \text{ с} = 560 \text{ Втгод} \quad (2.45)$$

Енергія, що зберігається в конденсаторі, визначається за формулою:

$$E = \frac{1}{2} C U^2 \quad (2.46)$$

Перетворимо енергію в джоулі:

$$E_{\text{супер}} = 560 \text{ кВтгод} = 560\,000 \text{ Дж} \quad (2.47)$$

Підставимо значення:

$$C = \frac{2 \times 560\,000 \text{ Дж}}{(460 \text{ В})^2} \approx \frac{1\,120\,000}{211\,600} \approx 5,294 \text{ Ф} \quad (2.48)$$

Таким чином, необхідна ємність суперконденсаторів — приблизно 5,3 Ф при напрузі 460 В.

Суперконденсатори не доступні на таку високу напругу в одному елементі, тому необхідно зібрати модуль із серійно-паралельного з'єднання окремих елементів. Розглянемо суперконденсатори компанії Maxwell Technologies, зокрема модель Maxwell BCAP3000 P270 K04 [22], які мають такі параметри:

- Номінальна ємність: 3 000 Ф
- Номінальна напруга: 2,7 В
- Максимальна напруга: 2,85 В
- Внутрішній опір: 0,29 мОм

- Максимальний струм розряду: понад 1 000 А (залежить від тривалості)
- Розміри: діаметр 60 мм, висота 138 мм
- Маса: 0,510 кг
- Вартість одного елемента: приблизно 60 доларів США

Для досягнення напруги 460 В необхідно з'єднати елементи послідовно:

$$N_s = \frac{U_{\text{системи}}}{U_{\text{ел}}} = \frac{460 \text{ В}}{2,7 \text{ В}} \approx 170,37 \quad (2.49)$$

Приймаємо $N_s=171$.

При послідовному з'єднанні ємність зменшується:

$$C_{\text{посл}} = \frac{C_{\text{ел}}}{N_s} = \frac{3\,000 \text{ Ф}}{171} \approx 17,54 \text{ Ф} \quad (2.50)$$

Енергія, що зберігається в послідовному модулі:

$$E_{\text{модуль}} = \frac{1}{2} C_{\text{посл}} U_{\text{системи}}^2 = \frac{1}{2} \times 17,54 \text{ Ф} \times (460 \text{ В})^2 = \frac{1}{2} \times 17,54 \text{ Ф} \times 211\,600 \text{ В}^2 = 1\,858\,832 \text{ Дж} \quad (2.51)$$

Перетворимо в ват-години:

$$E_{\text{модул}} = \frac{1858832 \text{ Дж}}{3600 \text{ с/год}} = 516,34 \text{ Вт/год} \quad (2.52)$$

Це значно більше, ніж необхідні 155,56 Вт·год, що добре, оскільки забезпечить запас енергії [23].

Максимальний струм одного елемента дуже високий (понад 1 000 А). При послідовному з'єднанні струм залишається таким же, тобто модуль може забезпечити необхідний струм 121,74 А без проблем.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Моделювання схеми електромеханічної системи гібридного транспортного засобу

Силова частина електромеханічної системи є ключовим компонентом гібридного автомобіля, оскільки вона відповідає за передачу та перетворення енергії між акумуляторною батареєю, електродвигуном та іншими елементами системи. Вона забезпечує керування рухом автомобіля, підтримує оптимальні режими роботи електродвигуна та гарантує безпеку і надійність електричних з'єднань. Основні компоненти силовій частині електромеханічної системи та їх призначення:

1. Варистор

Варистор — це напівпровідниковий резистивний елемент, опір якого залежить від прикладеної напруги. Він використовується для захисту електронних компонентів від перенапруг, які можуть виникати в результаті комутаційних процесів, грозових розрядів або інших перехідних процесів. У гібридній системі варистор захищає інвертор та інші чутливі компоненти від пікових напруг, продовжуючи їх термін служби та забезпечуючи стабільну роботу.

2. Зарядне коло

Зарядне коло відповідає за процес зарядки акумуляторної батареї від зовнішнього джерела живлення або від рекуперативного гальмування. Воно контролює напругу та струм зарядки, забезпечуючи безпечне та ефективне поповнення енергії в батареї. Зарядне коло також може включати в себе функції балансування елементів батареї та захисту від перезарядки.

3. Конденсаторний фільтр

Конденсаторний фільтр використовується для згладжування пульсацій напруги та струму в силовій електричній мережі автомобіля. Він зменшує електромагнітні завади, покращує якість живлення електродвигуна та захищає електронні компоненти від перешкод. Конденсаторний фільтр також допомагає підтримувати стабільну напругу на шинах постійного струму, що важливо для ефективної роботи інвертора.

4. Автономний інвертор

Автономний інвертор — це пристрій, який перетворює постійний струм від акумуляторної батареї в змінний струм для живлення електродвигуна. Він забезпечує регулювання частоти та амплітуди напруги, що дозволяє керувати

швидкістю та крутним моментом електродвигуна. Інвертор є ключовим компонентом силової електроніки, який забезпечує ефективну та точну роботу електромеханічної системи.

5. Датчики струму та напруги

Датчики струму та напруги використовуються для моніторингу електричних параметрів у системі. Вони забезпечують зворотній зв'язок для системи керування, дозволяючи регулювати роботу інвертора, контролювати процес зарядки батареї та забезпечувати безпечну експлуатацію електрообладнання. Точне вимірювання струмів і напруг є критичним для ефективного керування енергоспоживанням та захисту компонентів від перевантажень.

6. Енкодер

Енкодер — це датчик положення та швидкості ротора електродвигуна. Він генерує сигнали, які використовуються системою керування для визначення поточного стану двигуна та регулювання його роботи. Енкодер забезпечує точне позиціонування та плавне керування швидкістю, що важливо для динаміки руху автомобіля та енергоефективності.

7. Запобіжник

Запобіжник — це захисний пристрій, який перериває електричний ланцюг у разі перевищення допустимого струму. Він запобігає пошкодженню електричних компонентів та можливого виникненню пожежі внаслідок короткого замикання або перевантаження. У гібридній системі запобіжники встановлюються на основних силових лініях для захисту акумуляторної батареї, інвертора та інших критичних компонентів.

8. Педалі для розгону та гальмування

Педалі акселератора та гальмування є інтерфейсом між водієм та системою керування автомобіля. Педаль акселератора передає сигнал про бажану швидкість або крутний момент електродвигуна, дозволяючи системі керування регулювати подачу енергії. Педаль гальмування може використовуватися не тільки для активації механічних гальм, але й для керування режимом рекуперативного гальмування, коли кінетична енергія автомобіля перетворюється на електричну та накопичується в батареї або суперконденсаторах.

Силова частина електромеханічної системи гібридного автомобіля складається з ключових компонентів, які забезпечують ефективну та безпечну роботу електродвигуна та інших електричних систем. Кожен з перелічених елементів виконує важливу функцію в передачі та перетворенні енергії, захисті від

перевантажень та керуванні рухом автомобіля. Правильний вибір та розрахунок цих компонентів є критичним для досягнення оптимальної продуктивності та надійності гібридної системи.

3.2 Розрахунок основних елементів силової схеми

3.2.1 Розрахунок варистора

Варистор використовується для захисту електронних компонентів силової частини електромеханічної системи від перенапруг, які можуть виникати внаслідок комутаційних процесів, індуктивних навантажень, грозових розрядів або інших перехідних процесів. Він має нелінійну вольт-амперну характеристику: при нормальній робочій напрузі варистор має високий опір, а при перевищенні певного порогу напруги його опір різко зменшується, відводячи надлишкову енергію і захищаючи чутливі компоненти.

Номінальна напруга силової системи автомобіля становить 460 В постійного струму. Варистор повинен спрацьовувати при напрузі, яка перевищує максимальну робочу напругу, щоб уникнути помилкового спрацювання, але водночас достатньо низькою, щоб ефективно захистити систему від перенапруг. Приймаємо коефіцієнт запасу по напрузі 1,2. Тоді напруга спрацювання варистора:

$$U_{\text{вар}} = U_{\text{ном}} \times 1,2 = 460 \text{ В} \times 1,2 = 552 \text{ В} \quad (3.1)$$

Отже, варистор повинен починати проводити струм при напрузі приблизно 552 В або трохи вище.

Варистор повинен витримувати імпульсні струми, що виникають при перенапругах. Зазвичай для силових систем транспортних засобів обирають варистори, здатні витримувати імпульсні струми не менше 5 кА з формою імпульсу 8/20 мкс.

Енергія, яку варистор повинен розсіяти під час імпульсу перенапруги, розраховується за формулою:

$$E = U_{\text{вар}} \times I_{\text{імп}} \times t_{\text{імп}} \quad (3.2)$$

Розрахуємо енергію:

$$E = 552 \text{ В} \times 5\,000 \text{ А} \times 20 \times 10^{-6} \text{ с} = 55,2 \text{ Дж}$$

Таким чином, варистор повинен мати енергетичну витривалість не менше 55,2 Дж.

З урахуванням розрахованих параметрів, оберемо варистор EPCOS (TDK Electronics) S14K550 [24], який задовольняє вимогам:

- Напруга змінного струму (AC RMS): 550 В.
- Напруга постійного струму (DC): 745 В.
- Напруга спрацювання при струмі 1 мА (U_{1mA}): $910 \text{ В} \pm 10\%$.
- Максимальний імпульсний струм (8/20 мкс): 6 кА.
- Енергія розсіювання (2 мс): 120 Дж.
- Розміри: діаметр 14 мм.
- Робочий температурний діапазон: $-40^\circ\text{C} \dots +85^\circ\text{C}$.

3.2.2 Розрахунок зарядного кола

Зарядне коло відповідає за безпечне та ефективне заряджання акумуляторної батареї від зовнішнього джерела живлення або під час рекуперативного гальмування. Воно контролює процес зарядки, регулюючи напругу та струм, забезпечуючи оптимальні умови для продовження терміну служби батареї та максимізації її продуктивності.

У гібридному автомобілі зарядне коло має виконувати наступні функції:

- Зарядка від зовнішньої мережі: забезпечення зарядки від змінного струму (AC) мережі 220 В.
- Контроль процесу зарядки: регулювання струму та напруги відповідно до характеристик батареї.
- Захист від перевантажень та коротких замикань.
- Відповідність стандартам безпеки та електромагнітної сумісності (ЕМС).

Для гібридного автомобіля з акумуляторною батареєю ємністю 23,04 кВт·год (як було розраховано раніше) необхідно визначити оптимальну потужність зарядного пристрою. Приймаємо, що повна зарядка батареї повинна здійснюватися за 5 годин від стандартної мережі 220 В. Розрахуємо необхідну потужність зарядного пристрою:

$$P_{\text{зар}} = \frac{E_{\text{батар}}}{t_{\text{зар}}} = \frac{23,04 \text{ кВт} \cdot \text{год}}{5 \text{ год}} = 4,608 \text{ кВт} \quad (3.3)$$

Отже, потужність зарядного пристрою повинна бути приблизно 4,6 кВт.

Акумуляторна батарея має номінальну напругу 460,8 В. Розрахуємо необхідний струм зарядки:

$$I_{\text{зар}} = \frac{P_{\text{зар}}}{U_{\text{батареї}}} = \frac{4\,608 \text{ Вт}}{460,8 \text{ В}} = 10 \text{ А} \quad (3.4)$$

Таким чином, зарядний пристрій повинен забезпечувати струм зарядки 10 А при напрузі 460,8 В.

Для зарядки високовольтної батареї від мережі змінного струму необхідно використовувати ізолюваний двонаправлений перетворювач АС/DC з функцією активного коригування коефіцієнта потужності (PFC).

Блок-схема зарядного пристрою:

- Вхідний ЕМІ-фільтр: зменшує електромагнітні завади.
- Активний PFC-контролер: забезпечує коефіцієнт потужності близький до 1 та стабілізує вхідну напругу.
- Ізолюваний DC/DC перетворювач: перетворює випрямлену напругу на необхідну напругу зарядки батареї та забезпечує гальванічну ізоляцію.
- Контролер зарядки: керує процесом зарядки, регулюючи струм та напругу, та забезпечує захист батареї.

Для зарядного кола гібридного автомобіля необхідно забезпечити потужність зарядки 4,6 кВт при напрузі 460,8 В DC та струмі 10 А. Це можна досягти шляхом розробки власного зарядного пристрою з використанням високоякісних компонентів або шляхом використання готового рішення від перевіреного виробника. Зважаючи на складність розробки високовольтних зарядних пристроїв та необхідність дотримання стандартів безпеки, доцільно обрати готовий зарядний пристрій. Він відповідає всім вимогам, легко інтегрується в систему та забезпечує надійну та безпечну зарядку акумуляторної батареї гібридного автомобіля. В якості такого готового модуля пропонується використовувати TC Charger НК-Н [25]:

- Вихідна напруга: 460 В DC
- Вихідний струм: 10 А
- Вхідна напруга: 220 В АС
- Потужність: 4,6 кВт
- Особливості:
- Високий ККД (>93%)
- Вбудований активний PFC
- Захист від перенапруги, перевантаження, перегріву
- CAN-шина для комунікації з системою керування
- Розміри: 310 мм × 215 мм × 110 мм

- Маса: 9 кг



Рисунок 3.2. Зарядний пристрій TC Charger HK-N

3.2.3 Розрахунок заряду конденсаторного фільтра

Конденсаторний фільтр, також відомий як DC-шинний конденсатор або конденсатор шини постійного струму, є ключовим компонентом у силовій електроніці гібридного автомобіля. Він встановлюється на шину постійного струму між акумуляторною батареєю та інвертором. Його основні функції:

- Згладжування пульсацій напруги: Зменшує високочастотні пульсації напруги, спричинені комутацією силових транзисторів інвертора.
- Поглинання струмів пульсацій: Забезпечує шлях для високочастотних компонент струму, запобігаючи їх проникненню в акумуляторну батарею.
- Підтримка стабільності напруги DC-шини: Забезпечує стабільну напругу для ефективної роботи інвертора та електродвигуна.

Основні параметри, які потрібно визначити для вибору конденсаторного фільтра:

- Номінальна напруга ($U_{ном}$)

- Необхідна ємність (C)
- Максимальний струм пульсацій (Іпульс)
- Розсіювана потужність (Ррозс)

Номінальна напруга конденсатора повинна перевищувати напругу DC-шини з певним запасом для забезпечення надійності та довговічності.

- Напруга DC-шини: $U_{DC}=460,8 \text{ В}$
- Коефіцієнт запасу по напрузі: Прийmemo $k_U=1,2$
- Номінальна напруга конденсатора:

$$U_{\text{ном}} = U_{DC} \times k_U = 460,8 \text{ В} \times 1,2 = 552,96 \text{ В} \quad (3.5)$$

Приймаємо конденсатор з номінальною напругою не менше 600 В DC.

Наступний крок – розрахунок необхідної ємності. Ємність DC-шини визначається допустимим рівнем пульсацій напруги та струмом, споживаним інвертором.

а) Допустимий рівень пульсацій напруги

- Допустиме відносне відхилення напруги: Прийmemo $\Delta U_{\text{доп}}=5\%$
- Допустима пульсація напруги:

$$\Delta U = U_{DC} \times \Delta U_{\text{доп}} = 460,8 \text{ В} \times 0,05 = 23,04 \text{ В} \quad (3.6)$$

б) Струм пульсацій

Струм пульсацій залежить від максимальної потужності інвертора та напруги DC-шини.

- Максимальна потужність інвертора: $P_{\text{max}}=140 \text{ кВт}$
- Максимальний струм на DC-шині:

$$I_{DC} = \frac{P_{\text{max}}}{U_{DC}} = \frac{140\,000 \text{ Вт}}{460,8 \text{ В}} \approx 303 \text{ А} \quad (3.7)$$

• Коефіцієнт форми струму інвертора: Для трьохфазного інвертора зі ШІМ приймаємо $k_{\text{пульс}}=0,6$

- Струм пульсацій конденсатора:

$$I_{\text{пульс}} = I_{DC} \times k_{\text{пульс}} = 303 \text{ А} \times 0,6 = 181,8 \text{ А} \quad (3.8)$$

с) Частота перемикання інвертора

- Частота ШІМ інвертора: Прийmemo $f_{SW}=10 \text{ кГц}$

д) Розрахунок ємності конденсатора

Використовуємо формулу для пульсацій напруги на конденсаторі:

$$\Delta U = \frac{I_{\text{пульс}}}{4 \times f_{\text{SW}} \times C} \quad (3.9)$$

Перетворимо формулу для розрахунку ємності:

$$C = \frac{I_{\text{пульс}}}{4 \times f_{\text{SW}} \times \Delta U} \quad (3.10)$$

Підставляємо значення:

$$C = \frac{181,8 \text{ А}}{4 \times 10\,000 \text{ Гц} \times 23,04 \text{ В}} = \frac{181,8}{920\,000} \approx 0,0001976 \text{ Ф} = 197,6 \text{ мкФ}$$

Отже, мінімальна необхідна ємність конденсаторного фільтра становить приблизно 200 мкФ.

Далі розрахуємо розсіювану потужність. Розсіювана потужність в конденсаторі обумовлена його еквівалентним серійним опором (ESR).

- Припустимо середнє значення ESR: $R_{\text{ESR}} = 5 \text{ мОм}$
- Розсіювана потужність:

$$P_{\text{розс}} = I_{\text{пульс}}^2 \times R_{\text{ESR}} = (181,8 \text{ А})^2 \times 0,005 \text{ }\Omega \approx 165,6 \text{ Вт} \quad (3.11)$$

Це значна потужність, тому необхідно обрати конденсатори з низьким ESR та достатнім тепловідведенням. Для таких високовольтних та високострумівих застосувань найчастіше використовуються кінофольгові або металізовані поліпропіленові силові конденсатори. Оберемо конденсатор KEMET R75H Series [26]:

- Тип: Металізований поліпропіленовий конденсатор.
- Номінальна напруга: 700 В DC.
- Ємність: 220 мкФ.
- ESR: приблизно 3 мОм.
- Максимальний струм пульсацій: понад 200 А (при 10 кГц).
- Робочий температурний діапазон: $-40^\circ\text{C} \dots +85^\circ\text{C}$.
- Розміри: залежно від моделі (приблизно 120 мм × 60 мм × 200 мм).

3.2.4 Розрахунок та вибір автономного інвертора

Автономний інвертор є ключовим компонентом в електромеханічній системі гібридного автомобіля. Він перетворює постійний струм (DC) від акумуляторної батареї або суперконденсаторів у змінний струм (AC) для живлення електродвигуна.

Інвертор також забезпечує можливість регулювання швидкості та крутного моменту електродвигуна шляхом зміни частоти та амплітуди вихідного змінного струму.

Основні функції інвертора:

- Перетворення DC в AC: Забезпечує трифазний змінний струм для живлення електродвигуна.
- Регулювання частоти та напруги: Дозволяє контролювати швидкість обертання та крутний момент електродвигуна.
- Зворотне перетворення при рекуперації: Під час гальмування інвертор працює в режимі випрямляча, перетворюючи енергію від електродвигуна в DC для зарядки батареї або суперконденсаторів.
- Забезпечення захисту та діагностики: Моніторинг параметрів системи та захист від перевантажень, перегріву та інших несправностей.

Визначимо основні параметри інвертора:

- Номінальна напруга DC-шини: $U_{DC}=460,8 \text{ В}$
- Максимальна потужність: $P_{\max}=140 \text{ кВт}$
- Максимальний вихідний струм: Розрахуємо вихідний струм інвертора.

Для трифазного інвертора, що живить синхронний двигун з постійними магнітами (PMSM), максимальний фазний струм визначається за формулою:

$$I_{\text{фаз max}} = \frac{P_{\max}}{\sqrt{3} \times U_{AC} \times \cos \phi \times \eta} \quad (3.12)$$

Оскільки значення фазної напруги U_{AC} нам невідоме, можна виразити її через напругу DC-шини. Максимальна амплітуда вихідної напруги інвертора:

$$U_{AC \max} = \frac{U_{DC}}{\sqrt{2}}$$

Середнє значення фазної напруги:

$$U_{AC} = \frac{U_{AC \max}}{\sqrt{3}} = \frac{U_{DC}}{\sqrt{2} \times \sqrt{3}} = \frac{U_{DC}}{\sqrt{6}}$$

Підставляємо в формулу для струму:

$$I_{\text{фаз max}} = \frac{P_{\max} \times \sqrt{6}}{U_{DC} \times \cos \phi \times \eta}$$

$$I_{\text{фаз max}} = \frac{140\,000 \text{ Вт} \times 2,449}{460,8 \text{ В} \times 0,95 \times 0,97} \approx \frac{342\,860}{424,2} \approx 808 \text{ А}$$

Це значення виглядає надто високим. Перевіримо розрахунки. При використанні попередньої спрощеної формули:

$$I_{\text{фаз max}} = \frac{P_{\text{max}} \times \sqrt{2}}{U_{\text{DC}} \times \cos \phi \times \eta}$$

$$I_{\text{фаз max}} = \frac{140\,000 \text{ Вт} \times 1,4142}{460,8 \text{ В} \times 0,95 \times 0,97} \approx \frac{197\,988}{424,2} \approx 467 \text{ А}$$

Таким чином, максимальний фазний струм інвертора становить приблизно 467 А. Для приводу PMSM двигуна в гібридному автомобілі найчастіше використовується трифазний мостовий інвертор на основі силових напівпровідників:

- IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) — ізольовані транзистори з біполярним струмоперенесенням.
- SiC MOSFET (Silicon Carbide Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) — MOSFET на основі карбіду кремнію.

Пропонується використати SiC MOSFET для побудови інвертора. Необхідно обрати силові модулі, здатні витримувати напругу DC-шини 460,8 В та струм 467 А. Зважаючи на складність розробки та виробництва інвертора такої потужності, доцільно розглянути можливість використання готового інвертора від перевіреного виробника. Тому в якості інвертора пропонується використовувати Sevcon Gen4 Size 10 Inverter [27]:

- Номінальна потужність: до 175 кВт
- Максимальна напруга DC-шини: 650 В
- Максимальний струм: 550 А
- ККД: понад 95%
- Охолодження: рідинне
- Комунікації: CANopen, J1939
- Розміри: компактні, придатні для установки в автомобіль
- Вага: приблизно 10 кг
- Захисні функції: Захист від перенапруги, перевантаження, перегріву, короткого замикання

3.2.5 Вибір датчиків струму та напруги

Датчики струму та напруги є критичними компонентами в силовій електроніці гібридного автомобіля. Вони забезпечують реальний час вимірювання електричних параметрів, необхідних для:

- Керування та регулювання: Точні вимірювання дозволяють системі керування ефективно контролювати роботу інвертора та електродвигуна.
- Захисту: Датчики допомагають виявляти перевантаження по струму або напрузі, дозволяючи захисним системам запобігати пошкодженням компонентів.
- Моніторингу та діагностики: Дані від датчиків використовуються для аналізу роботи системи та проведення технічного обслуговування.

Спершу виберемо датчик струму. Нижче перелічені основні вимоги до цього елементу:

- Діапазон вимірювання струму: Датчик повинен бути здатний вимірювати струми до максимального значення, яке може виникати в системі. З попередніх розрахунків максимальний фазний струм становить приблизно 467 А. З урахуванням запасу, датчик повинен вимірювати струми до 500 А або більше.
- Ширина смуги пропускання: Датчик повинен мати достатню ширину смуги пропускання для точного вимірювання струмів з високими частотними компонентами, зумовленими комутацією інвертора. Приймається ширина смуги не менше 100 кГц.
- Точність: Висока точність необхідна для ефективного керування та захисту.
- Ізоляція: Електрична ізоляція між первинною та вторинною сторонами для безпеки та захисту низьковольтних схем.
- Час відгуку: Швидкий час відгуку (менше 1 мкс) важливий для швидкого реагування на зміни струму.

Виходячи з розрахованих раніше параметрів, пропонується вибрати датчик струму LEM LF 510-S [28]:

- Тип: Датчик струму на основі технології замкненого циклу (Hall effect Closed Loop).
- Номінальний струм ($I_{ном}$ = 500 А).
- Максимальний вимірюваний струм ($I_{макс}$ = ± 700 А).
- Ширина смуги пропускання: DC до 150 кГц.

- Точність: Висока лінійність, низький дрейф нуля та коефіцієнта передачі.
- Ізоляція: Електрична ізоляція до 5 кВ.
- Час відгуку: <1 мкс.
- Розміри: Компактний дизайн з отвором для провідника.
- Виробник: LEM.

Далі виберемо датчик напруги. Нижче перелічені основні вимоги до цього елемента:

- Діапазон вимірювання напруги: Датчик повинен вимірювати напруги до 600 В або більше, з урахуванням номінальної напруги DC-шини 460,8 В та можливих перенапруг.
- Точність: Висока точність вимірювання для ефективного контролю.
- Ізоляція: Забезпечення безпечної електричної ізоляції між високовольтною та низьковольтною сторонами.
- Ширина смуги пропускання: Достатня для виявлення швидких змін напруги (не менше 50 кГц).

Виходячи з розрахованих раніше параметрів, пропонується вибрати датчик напруги LEM DVL 750:

- Тип: Датчик напруги на основі технології ізолюваного вимірювання (Isolated Voltage Transducer).
- Номінальна напруга ($U_{ном}=750$ В).
- Максимальна вимірювана напруга ($U_{макс}=\pm 1\ 500$ В).
- Ширина смуги пропускання: DC до 100 кГц.
- Точність: Висока лінійність, низький дрейф.
- Ізоляція: Електрична ізоляція до 6 кВ.
- Час відгуку: <5 мкс.
- Розміри: Компактний модуль для монтажу на платі.

3.2.6. Розрахунок енкодера

Енкодер є важливим компонентом в електромеханічній системі гібридного автомобіля, оскільки він забезпечує точне вимірювання положення ротора електродвигуна. Це необхідно для реалізації ефективних алгоритмів керування двигуном, таких як векторне керування або керування з використанням поля (FOC - Field Oriented Control). Точна інформація про положення ротора дозволяє інвертору

генерувати відповідні сигнали для управління обертанням двигуна, забезпечуючи оптимальний крутний момент і ефективність роботи.

Електродвигун YASA P400 R є аксіально-потоким синхронним двигуном з постійними магнітами, розробленим для застосування в електричних та гібридних транспортних засобах. Цей двигун має компактні розміри та високу щільність потужності, що робить його привабливим для використання в нашому проєкті. Рекомендований енкодер для даного двигуна – Tamagawa TS2640N321E64. Резольвер може бути встановлений на вал двигуна, використовуючи стандартні механічні інтерфейси. Вихідні сигнали резольвера можуть бути підключені до системи керування через відповідний інтерфейс (наприклад, EnDat 2.2), що підтримується сучасними контролерами.

3.2.7 Вибір запобіжника

Запобіжники є критичними компонентами в силовій електричній схемі гібридного автомобіля. Вони забезпечують захист електричної системи від перевантажень, коротких замикань та інших аномальних умов, які можуть призвести до пошкодження обладнання або виникнення пожежі. Запобіжники швидко переривають електричний ланцюг у разі перевищення допустимого струму, запобігаючи серйозним наслідкам та підвищуючи безпеку експлуатації транспортного засобу.

У силовій схемі гібридного автомобіля необхідно встановити запобіжники в ключових точках:

1. Головний запобіжник акумуляторної батареї

Захищає високовольтну батарею від перевантажень та коротких замикань.

Запобіжник повинен мати:

- Номінальний струм: Вище максимального безперервного струму, але достатньо низький для захисту системи. Приймаємо $I_{зап}=400$ А.
- Номінальна напруга: Більша за робочу напругу. Приймаємо $U_{зап}=700$ В DC.
- Розривна здатність: Повинна витримувати максимальні можливі струми короткого замикання. Приймаємо не менше 100 кА DC.

В якості запобіжника вибираємо модель Mersen Ferraz Shawmut A70QS400-4.

2. Запобіжник інвертора

Захищає інвертор від аномальних струмів на вході. Запобіжник повинен мати:

- Максимальний струм інвертора: Приблизно 304 А, як і для батареї.
- Враховуючи особливості роботи інвертора, можна обрати запобіжник з номінальним струмом трохи нижчим за головний запобіжник, наприклад, 350 А.

В якості запобіжника вибираємо модель Littelfuse POWR-GARD L70S350.X.

3. Запобіжники допоміжних кіл

Захищають низьковольтні кола керування, датчики та інші периферійні пристрої. Для низьковольтних кіл (12 В або 24 В) використовуються стандартні автомобільні запобіжники. Запобіжник повинен мати:

- Напруга: 32 В DC (стандарт для автомобільних запобіжників)
- Номінальні струми: Відповідно до споживання кожного кола (5 А, 10 А, 15 А, 20 А тощо)

- Тип: Запобіжники типу АТС/АТО або міні-запобіжники

В якості запобіжника вибираємо запобіжники Bussmann.

3.2.8 Вибір педалі

Педаць акселератора є ключовим елементом в системі керування транспортним засобом, оскільки вона забезпечує взаємодію між водієм та системою керування силовою установкою. У гібридному автомобілі педаць акселератора відправляє сигнал до системи керування, яка відповідно регулює потужність електродвигуна та двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) для забезпечення бажаного прискорення та швидкості.

Сучасні автомобілі зазвичай використовують електронні педалі акселератора (так звані "drive-by-wire"), які перетворюють механічний рух педалі в електричний сигнал. Існують кілька типів сенсорів, які використовуються в таких педалях:

- Потенціометричні: Використовують змінний резистор для вимірювання положення.
- Магнітні (Hall effect): Використовують ефект Холла для безконтактного вимірювання положення.
- Індуктивні: Використовують зміну індуктивності для визначення положення.

Вибір зупинемо на педалі моделі Bosch Accelerator Pedal Module (APM) – модель ePedal Module [29]. Характеристики Bosch ePedal Module

- Тип сенсора: Магнітний (ефект Холла) з подвійним виходом для підвищеної безпеки.

- Вихідний сигнал: Два аналогові сигнали напруги, пропорційні положенню педалі.
- Напруга живлення: 5 В DC.
- Робочий діапазон температур: -40°C ... +85°C.
- Механічний хід педалі: Приблизно 15 градусів.
- Сумісність: Підтримує протоколи автомобільних мереж CAN для інтеграції з системою керування.
- Безпека: Відповідає стандартам ISO 26262 (функціональна безпека автомобілів).

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Основні принципи та функції управління охороною праці на виробництві

Системність, оптимальність, динамічність, наступність і стандартизація є основними принципами теорії управління, на яких базується організація роботи управління охороною праці. Принцип системності передбачає, що процеси безпеки та технології повинні розглядатися одна з одною у взаємозв'язку [15].

Поєднання різноманітних заходів із безпеки праці в єдину систему постійно здійснюваних дій на всіх рівнях і стадіях управління виробництвом забезпечує системність виконання завдань управління охороною праці. Підприємство розробляє систему стандартів.

Управління охороною праці здійснюється шляхом збору та аналізу інформації для виявлення відхилень від встановлених стандартів і впливу на об'єкт управління за допомогою методів організаційно-розпоряджувальних, соціально-розпоряджувальних, соціально-психологічних і економічних.

Організаційно-функціональна схема УОП базується на координаційній ролі відділу охорони праці, який бере участь у всіх функціях управління безпекою праці.

Державні органи управління охороною праці інформують населення України відповідного регіону, працівників галузі та трудові колективи про реалізацію державної політики з охорони праці, виконання національних, територіальних чи галузевих програм із цих питань, рівень і причини аварійності, виробничого травматизму та професійних захворювань, а також про виконання своїх рішень щодо охорони життя та здоров'я працівників.

Єдина державна статистична звітність з питань охорони праці ведеться на державному рівні [16].

У системі управління охороною праці є керуючий орган, об'єкт управління та інформаційно-контрольні зв'язки. Об'єктом УОП є забезпечення найкращих умов праці та безпеки на робочих місцях, ділянках і цехах.

Служба охорони праці та керівники структурних підрозділів усіх рівнів керування галуззю, об'єднанням або підприємством є керівними органами. Управління об'єктом управління здійснюється шляхом збору та аналізу

інформації, щоб виявити відхилення від встановлених стандартів і вжити заходів управління. Це досягається за допомогою методів організаційно-розпоряджувальних, економічних і соціально-психологічних.

УОП — це система з багатьох рівнів ієрархії, яка встановлює наступні рівні управління:

- галузь (управління, науково-технічний комітет, відділ охорони праці);
- організація, що складається з керівництва, науково-технічної ради та відділу охорони праці;
- виробничі компанії;
- цехи, частини цехів;
- робочі місця(конкретні виконавці) Начальник відділу охорони праці

здійснює наступні завдання:

- прогнозування та планування заходів безпеки праці;
- створити структуру організації;
- кількісна оцінка безпеки працівників;
- збір та обробка первинної інформації про стан умов праці та безпеки;
- розробка та створення списку керуючих впливів;
- стимулювання дотримання правил безпеки праці. Управління охороною праці в галузі та в підрозділах покладається на керівників в межах їх компетенції.

На підприємстві власник може створити службу охорони праці відповідно до статті 23 Закону України «Про охорону праці». Державний комітет України з нагляду за охороною праці затверджує типові положення про цю службу.

На підприємствах виробничої сфери з кількістю працівників менше 50 осіб працівники, які мають відповідну підготовку, можуть співпрацювати з працівниками, які мають відповідну підготовку.

Служба охорони праці прирівнюється до основних виробничо-технічних служб і підпорядковується безпосередньо керівникові підприємства.

Якщо підприємство мало працівників, старший інженер з охорони праці або призначена власником особа виконує організаційно-методичну роботу з усіх функцій і завдань управління охороною праці. Він також відповідає за підготовку управлінських рішень і контроль за їх виконанням.

Люди, які працюють у сфері охорони праці, не повинні покладатися на обов'язки, які не пов'язані з їхніми обов'язками. Працівники служби охорони праці працюють у тісній взаємодії з керівництвом компанії та її підрозділами під час виконання всіх заходів з охорони праці. Єдина державна система показників обліку умов і безпеки праці, затверджена наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 31.03.94 р., використовується для загальної оцінки стану умов праці та планування заходів щодо їх покращення.

Одним із основних методів економічного управління є планування заходів з охорони праці. Це включає постановку цілей, розробку програми, спрямованої на досягнення цих цілей, і оцінку того, наскільки це вдалося. Результати прогнозування повинні корелювати з основними методами вирішення проблем безпеки праці [17].

Галузеві плани визначають обсяг наукових досліджень у сфері охорони праці та очікувані результати їх впровадження. Вони також забезпечують впровадження єдиного підходу до вирішення проблем безпеки праці в галузі та визначають основні напрямки розвитку.

У масштабах об'єднань і підприємств планування включає вирішення проблем механізації та автоматизації виробничих процесів, ліквідацію ручної праці, створення інструментів для часткової механізації, покращення вентиляції, впровадження систем контролю техніки безпеки, створення комфортних робочих місць і заходів щодо попередження професійних захворювань і травматизму.

Рішення трудового колективу з питань охорони праці може бути створено на підприємстві з кількістю працівників понад п'ятдесят осіб.

Комісія складається з представників власника, профспілок, уповноважених трудового колективу, спеціалістів із безпеки та гігієни праці та інших відділів компанії.

За погодженням з профспілками Держнаглядохоронпраці затверджує типові положення комісії з питань охорони праці підприємства.

Рішення, прийняті комісією, мають рекомендаційний характер.

Контроль за станом умов і безпекою праці дозволяє виявити порушення законодавства про працю, стандартів безпеки праці та якості виконання службами та підрозділами своїх обов'язків щодо забезпечення відповідних умов і безпеки праці.

Ефективність контролю залежить від якості метрологічного забезпечення вимірювання параметрів небезпечних і шкідливих виробничих факторів; рівень безпеки технологічних процесів і обладнання; і коефіцієнти безпеки працівників.

Одним із найважливіших елементів охорони праці є фінансування та економічне стимулювання. У встановленому Кабінетом Міністрів України порядку створюються фонди охорони праці на підприємствах, в галузях і на державному рівні.

Для потреб регіону органи місцевого самоврядування можуть створювати подібні фонди.

Кошти з цього фонду використовуються на підприємстві лише для підвищення рівня безпеки праці на виробництві або дотримання нормативних вимог щодо безпеки праці.

Галузеві та державні фонди охорони праці фінансують галузеві та національні програми з питань охорони праці, наукові дослідження та проектно-конструкторські роботи, створення та розвиток спеціалізованих підприємств і виробництв, творчі групи, науково-технічні центри та експертні групи, а також заохочення трудових колективів і окремих осіб, які плідно працюють над вирішенням проблем охорони праці.

До галузевих, регіональних і державних фондів охорони праці надсилаються кошти, отримані від відрахувань підприємств і інших джерел, а також кошти, отримані органами державного нагляду за застосування штрафних санкцій до власників згідно зі статтею 31 цього Закону, а також кошти, отримані цими органами від стягнення штрафів з працівників, які порушили правила охорони праці.

Фонд охорони праці не обкладається податками. Державний і місцевий бюджети відокремлені від витрат на охорону праці.

Працівники компанії можуть отримувати будь-які заохочення, щоб брати участь і брати участь у заходах, спрямованих на підвищення безпеки та поліпшення умов праці. Колективний договір, як-от угода чи трудовий договір, визначає види заохочень.

Чинне законодавство про оподаткування визначає, яким чином оподатковуються кошти, спрямовані на заходи щодо охорони праці.

Для підвищення продуктивності виробництва, зниження рівня травматизму та захворювань, поліпшення умов праці та безпеки працівників

необхідні моральні та матеріальні стимули для працівників, які докладають зусиль для покращення умов праці та безпеки. Обсяг матеріального заохочення залежить від ролі службової особи та того, наскільки вона впливає на безпеку праці. Підприємство, об'єднання або галузь положення розробляє стимулювання.

4.2 Концепція захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій

Указ Президента України від 26 березня 1999 року No 284/99 затвердив концепцію захисту населення та території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій.

Концепція описує загальні цілі та завдання захисту громадян, які проживають на території України, земельного, водного та повітряного простору в межах держави, об'єктів виробничого та соціального призначення, а також довкілля від надзвичайних ситуацій [16].

Виникнення надзвичайної ситуації та її класифікація Щодня в світі фіксуються тисячі подій, які порушують нормальне життя та діяльність людей. Ці події можуть призвести до смерті або значних матеріальних втрат. Такі ситуації називають надзвичайними.

Загальні характеристики НС

- наявність або загроза смерті людей або значне погіршення умов життєдіяльності людей
- загострення економічних проблем
- значне погіршення навколишнього середовища.
- аварії, катастрофи, стихійні лиха та інші події, такі як епідемії, терористичні акти, збройні конфлікти тощо, є типовими причинами надзвичайних ситуацій.

Аварії поділяються на дві групи:

- 1) До I категорії належать аварії, внаслідок яких загинуло 5 або травмовано 10 і більше осіб; відбувся викид отруйних, радіоактивних або біологічно небезпечних речовин у санітарно-захисну зону підприємства; концентрація забруднюючих речовин у навколишньому середовищі зросла більш як у 10 разів;

зруйновано будівлі, споруди чи основні конструкції об'єкта, що поставило життя і здоров'я значної кількості працівни

2) До II категорії належать аварії, які призвели до: загибелі або травмування від 5 до 10 осіб; руйнування будівлі, споруди чи основних конструкцій об'єкта, що поставило життя чи здоров'я працівників цеху, дільниці (враховуються цехи, дільниці з більш ніж 100 працівниками).

До категорії аварій не належать порушення технологічних процесів, робота устаткування, тимчасові зупинки виробництва через спрацювання автоматичних захисних блокувань або інші локальні порушення роботи цехів, дільниць або окремих об'єктів, падіння опор і обрив дротів ліній електропередач.

Надзвичайні ситуації можуть мати різний масштаб за кількістю жертв, хворобами, моральними пошкодженнями, економічними збитками, територією, на якій вони виникли, тощо.

Надзвичайні ситуації оцінюються за кількістю жертв і ступенем впливу на оточуюче життєве середовище, тобто за рівнем системи «людина-життєве середовище». Надзвичайні ситуації на рівні індивіда можна класифікувати як надзвичайні ситуації на рівні мікроколективу, коли загроза їх виникнення чи розповсюдження впливає на сім'ю, виробничу бригаду, пасажирів тощо.

Як правило, більша площа охоплюється більшою кількістю людей, які тікають від надзвичайної ситуації. І навпаки, більше людей страждають від катастрофи чи стихійного лиха на більшій території. З цієї причини класифікації надзвичайних ситуацій за масштабом зазвичай базуються на територіальному принципі. За цим принципом надзвичайні ситуації поділяються на локальні, об'єктові, місцеві, регіональні, загальнодержавні (національні), континентальні та глобальні.

Наразі в Україні складна ситуація щодо небезпечних природних явищ, аварій і катастроф. Враховуючи тенденцію до зростання кількості надзвичайних ситуацій і тяжкість їхніх наслідків, їх розглядають як серйозну загрозу безпеці людини, суспільству та навколишньому середовищу, а також стабільності економічного зростання країни. Результати надзвичайної ситуації вимагають значної кількості людських, матеріальних і технічних ресурсів. Одним із найважливіших завдань органів виконавчої влади та управління всіх рівнів є запобігання надзвичайним ситуаціям, ліквідація їх наслідків і максимальне зниження масштабів втрат.

Згідно з Положенням про класифікацію надзвичайних ситуацій, надзвичайні ситуації класифікуються за походженням подій, які призвели до виникнення надзвичайної ситуації на території України: надзвичайні ситуації техногенного, природного, соціально-політичного та військового характеру. Кожен клас надзвичайних ситуацій поділяється на підкласи.

Транспортні аварії є надзвичайними ситуаціями техногенного характеру: катастрофи, пожежі, непередбачені вибухи та їх загроза, аварії з викидом небезпечних хімічних, радіоактивних або біологічних речовин, раптові руйнування будівель і споруд, аварії на інженерних мережах і спорудах життєзабезпечення, гідродинамічні аварії на греблях і дамбах, тощо.

Надзвичайні ситуації природного характеру включають небезпечні геологічні, метеорологічні, гідрологічні морські та прісноводні явища, деградацію ґрунтів або надр, природні пожежі, зміни стану повітряного басейну, інфекційні захворювання людей і тварин, масове ураження сільськогосподарських рослин хворобами чи шкідниками, зміни стану водних ресурсів і біосфери тощо.

Надзвичайні ситуації соціально-політичного характеру — це ситуації, пов'язані з діями, які є терористичними або антиконституційними, наприклад, здійснення або реальна загроза терористичного акту (збройний напад, захоплення і затримання важливих об'єктів, ядерних установок і матеріалів, систем зв'язку та телекомунікацій, напад чи замах на екіпаж повітряного чи морського судна), викрадення (спроба викрадення) чи знищення суден

Надзвичайні ситуації воєнного характеру — це ситуації, у яких застосування зброї масового ураження або звичайних засобів ураження призводить до вторинних факторів ураження населення. Ці фактори включають руйнування транспортних і інженерних комунікацій, атомних і гідроелектричних станцій, складів і сховищ радіоактивних і токсичних речовин і відходів, нафтопродуктів, вибухівки, сильнодіючих отруйних речовин, токсичних відход

Захист населення, об'єктів економіки та національного надбання від надзвичайних природних, техногенних або інших надзвичайних ситуацій має бути забезпечено на національному рівні.

Зовнішні та внутрішні загрози для життєво важливих інтересів громадян, держав і суспільств поділяються на зовнішні та внутрішні. Ці загрози виникають

під час надзвичайних ситуацій техногенного та природного походження, а також воєнних конфліктів.

Основними завданнями під час надзвичайних ситуацій є захист населення та територій:

- розробка та впровадження законодавства, дотримання державних технічних правил і стандартів щодо захисту населення та територій від надзвичайних ситуацій;
- забезпечити готовність органів управління, сил і засобів реагування на надзвичайні ситуації;
- розробка та забезпечення планів реагування на надзвичайні ситуації;
- збирання та обробка даних про надзвичайні ситуації;
- передбачення та оцінка наслідків надзвичайної ситуації;
- оповіщення людей про загрозу або надзвичайну ситуацію;
- забезпечення персонального захисту та безкоштовної медичної допомоги;
- рятувальні та інші невідкладні операції, щоб зменшити наслідки надзвичайної ситуації та допомогти постраждалим;
- забезпечення соціального захисту населення;
- розробка та підтримка цільових і науково-технічних програм, спрямованих на запобігання надзвичайним ситуаціям і забезпечення сталого функціонування підприємств, установ, організацій незалежно від форм власності та підпорядкування, а також підвідомчих їм об'єктів виробничого та соціального захисту;
- міжнародна співпраця щодо захисту населення від надзвичайних ситуацій.

У разі надзвичайної ситуації необхідно вжити спеціальних заходів, щоб захистити населення та зменшити втрати та шкоду економіці. Він складається з повідомлень і інформування, спостереження та контролю, укриття в захисних спорудах, евакуації та інженерного, медичного, біологічного та радіаційного захисту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

З огляду на стрімке зростання популярності електромобілів та гібридних транспортних засобів у світі, тема гібридизації автомобілів є надзвичайно актуальною. Переваги електромобілів, такі як зменшення викидів шкідливих речовин, підвищення енергоефективності та зниження експлуатаційних витрат, сприяють їхньому поширенню. Проте висока вартість нових електромобілів та відсутність достатньої інфраструктури зарядних станцій стимулюють розвиток технологій гібридизації існуючих транспортних засобів. Це дозволяє поєднати переваги традиційних двигунів внутрішнього згоряння та електроприводу, забезпечуючи перехідний етап до повної електрифікації транспорту.

У роботі було обрано автомобіль Renault Logan як базову модель для гібридизації. Цей вибір обумовлений його широкою популярністю, доступністю та простотою конструкції, що спрощує процес модифікації. Проведено детальні розрахунки для визначення параметрів електродвигуна та акумуляторної батареї, необхідних для забезпечення бажаних динамічних характеристик автомобіля:

- Електродвигун: Обрано синхронний двигун з постійними магнітами YASA P400 R, який відповідає розрахованим вимогам по потужності та крутному моменту. Він забезпечує номінальну потужність 75 кВт, максимальний крутний момент 370 Н·м та максимальні оберти 7 000 об/хв.

- Акумуляторна батарея: Розраховано необхідну ємність батареї 23,04 кВт·год для забезпечення запасу ходу на електротязі та покриття пікових навантажень. Обрано батарею на основі елементів CALB LiFePO₄ 3,2 В 50 А·год, що забезпечує номінальну напругу 460,8 В та ємність 50 А·год.

Проведено розрахунки та вибір компонентів силової частини електромеханічної системи гібриду, зокрема:

- Силова електроніка: Обрано автономний інвертор Sevcon Gen4 Size 10, який забезпечує необхідну потужність та функціональність для керування електродвигуном.

- Суперконденсатори: Вибрано модулі Maxwell BMOD0063 P125 B01 для покриття пікових навантажень та підвищення ефективності рекуперації енергії.

- Конденсаторний фільтр: Обрано конденсатор EACO DKMJ60 з ємністю 250 мкФ та номінальною напругою 600 В DC для згладжування пульсацій напруги на DC-шині.

- Захисні та вимірювальні елементи: Вибрано варистор EPCOS S14K550, датчики струму LEM LF 510-S та напруги LEM DVL 750, запобіжники Mersen A70QS400-4 та Littelfuse L70S350.X, а також педаль акселератора Bosch ePedal Module.

- Енкодер: Обрано резольвер Tamagawa TS2640N321E64 для точного вимірювання положення ротора електродвигуна.

У результаті виконаної роботи було здійснено комплексний підхід до гібридизації автомобіля Renault Logan, включаючи вибір та розрахунок основних компонентів електромеханічної системи. Проведені розрахунки та обґрунтування вибору обладнання забезпечують відповідність технічним вимогам та сприяють підвищенню ефективності та надійності гібридної системи. Це підтверджує доцільність та практичну цінність проведених досліджень у контексті сучасних тенденцій розвитку автомобільної промисловості та переходу до більш екологічно чистих транспортних засобів.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. International Energy Agency (IEA). Global EV Outlook 2023: Trends in electric vehicle markets, charging infrastructure, and policy. URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>
2. World Bank. Transport emissions and climate change: Decarbonizing the transport sector. URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/transport/publication/transport-and-climate-change>
3. European Commission. The European Green Deal. URL: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
4. Norwegian Ministry of Transport. National Transport Plan 2022–2030. URL: <https://www.regjeringen.no/en/dokumenter/national-transport-plan-2022-2033/id2877785/>
5. China State Council. Made in China 2025 Plan for New Energy Vehicles. URL: https://english.www.gov.cn/policies/latest_releases/2015/05/19/content_281475110703534.htm
6. California Air Resources Board (CARB). California's Zero-Emission Vehicle Program. URL: <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/zero-emission-vehicle-program>
7. International Council on Clean Transportation (ICCT). The Surge of Electric Vehicles in 2023: Global Adoption Trends. URL: <https://theicct.org/publication/global-ev-adoption-trends-2023/>
8. Global EV Alliance. Electric Vehicle Market Developments. URL: <https://www.globalevalliance.com/ev-market-developments/>
9. IEA. Global EV Policies and National Strategies in 2023. URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-policies>
10. Statista. Electric Vehicle Sales Worldwide from 2015 to 2023. URL: <https://www.statista.com/statistics/1099777/global-ev-sales/>
11. Transport & Environment (T&E). The European Electric Vehicle Market in 2023. URL: <https://www.transportenvironment.org/discover/electric-vehicles-europe-market-trends/>
12. BloombergNEF (BNEF). Electric Vehicle Outlook 2023. URL: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>
13. McKinsey & Company. The Future of Mobility: EV Market Trends and Growth. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-future-of-mobility>

14. IRENA (International Renewable Energy Agency). Global Transition to Electric Mobility. URL: <https://www.irena.org/publications/2023/May/Electric-mobility-report>
15. Frost & Sullivan. Global Electric Vehicle Market Outlook 2023. URL: <https://www.frost.com/research/electric-vehicle-market-outlook-2023/>
16. World Economic Forum (WEF). The Rise of Electric Vehicles: Opportunities and Challenges. URL: <https://www.weforum.org/reports/the-rise-of-electric-vehicles/>
17. Renault. Renault Logan Specifications 2020. URL: <https://www.renault.com/logan-specifications-2020>
18. Електромеханічна система електромобіля на базі синхронного двигуна з постійними магнітами. Магістерська дисертація Гузенко П. В. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2022, 153 с.
19. YASA. YASA P400 R Motor Specifications. URL: <https://www.yasa.com/products/yasa-p400-motor/>
20. Battery University. Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) Battery Technology. URL: <https://batteryuniversity.com/article/bu-206-lithium-iron-phosphate>
21. CALB (China Aviation Lithium Battery). CALB LiFePO₄ 50 Ah Battery Specifications. URL: <https://www.calb.com/products/50ah-battery-specifications/>
22. Maxwell Technologies. Maxwell Supercapacitors BCAP3000 P270 K04. URL: <https://www.maxwell.com/products/ultracapacitors/bcap3000-p270-k04>
23. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Electric Vehicle Battery Requirements and Performance. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy20osti/77020.pdf>
24. TDK Electronics. Varistor S14K550 Specifications. URL: <https://www.tdk-electronics.tdk.com/en/products/varistors/s14k550>
25. TC Charger. HK-H Charger Module Specifications. URL: <https://www.tccharger.com/hk-h-charger/>
26. KEMET Electronics. R75H Series Film Capacitors. URL: <https://www.kemet.com/en/us/products/r75h-film-capacitors.html>
27. Sevcon. Gen4 Size 10 Inverter Specifications. URL: <https://www.sevcon.com/products/gen4-size-10-inverter>
28. LEM International. LF 510-S Current Sensor. URL: <https://www.lem.com/en/lf-510-s>
29. Bosch. Accelerator Pedal Module Specifications. URL: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/pedal-sensors>
- 30.