

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Розробка системи керування та моделювання роботи силової установки гібридного автомобіля

Рівень вищої освіти	бакалавр
Галузь знань	27 «Транспорт»
Спеціальність	274 «Автомобільний транспорт»
Освітня програма	Автомобільний транспорт

Шифр: КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ

Виконав студент 3-го курсу
група АТс 22-2
Шифр



Підпис

Іван БУРДИНСЬКИЙ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник к.т.н., доц.
Науковий ступінь, звання



Підпис

Олег МАКОВКІН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

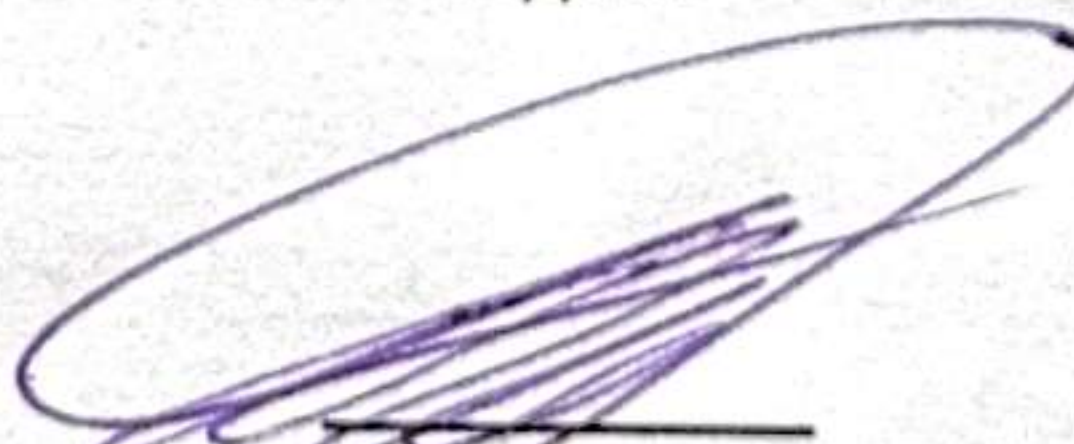
Нормоконтролер



Підпис

Олег БАБАК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри ТАМ
Назва



Підпис

Олександр ДИХА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата 12.06.25

Хмельницький, 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Галузь знань 27 – Транспорт

Спеціальність – 274 Автомобільний транспорт

Рівень вищої освіти – Перший бакалаврський

Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Диха О.В.

20-02 2025 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Бурдинському Івану Миколайовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема проекту (роботи) _____

«Розробка системи керування та моделювання роботи силової установки гібридного автомобіля»

керівник проекту (роботи) Маковкін Олег Миколайович к.т.н., доцент

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

Затверджено наказом ректора університету від 7 лютого 2025р. № 23 (Д26)

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10 червня 2025 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузлів паливної систмки; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніко – економічні показники роботи підприємства.

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

1. Огляд за темою та визначення структурної схеми; 2. Режими руху гібридного автомобіля; 3. Алгоритм режимів руху; 4. Моделювання гібридної силової установки в середовищі simulink; 5. Техніко-економічне обґрунтування проекту; 6. Безпека та екологічність проекту

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

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання 02.02.2025

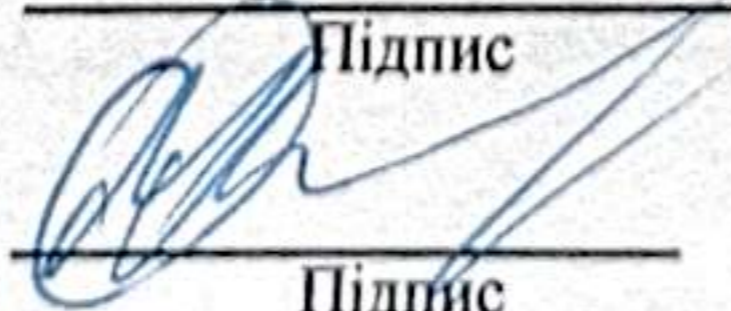
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Літературний огляд</i>	<i>15.05.2025</i>	
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>25.05.2025</i>	
3	<i>Конструкторський розділ</i>	<i>30.05.2025</i>	
4	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>2.06.2025</i>	
5	<i>Оформлення презентації бакалаврської роботи</i>	<i>5.06.2025</i>	
6	<i>Нормоконтроль магістерської роботи</i>	<i>9.06.2025</i>	
7	<i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i>	<i>10.06.2025</i>	

Студент



Керівник проекту (роботи)


Підпис

Іван БУРДИНСЬКИЙ
Ініціали, прізвище

Олег МАКОВКІН
Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

У випускній кваліфікаційній роботі бакалавра розглянуто питання розробки системи керування та моделювання роботи силової установки гібридного автомобіля. Мета дослідження полягає в створенні ефективної імітаційної моделі гібридної силової установки, розробці алгоритмів управління різними режимами руху, а також виборі основних компонентів силового модуля: двигуна внутрішнього згорання, мотор-генераторів, високовольтної батареї, планетарної передачі та електронного перетворювача.

У першому розділі проведено огляд аналогів гібридних силових схем, обґрунтовано вибір основних вузлів, побудовано структурну та принципову схеми, а також розглянуто функціональні особливості кожного з компонентів системи.

У другому розділі проаналізовано основні режими руху гібридного автомобіля (електричний, гібридний, рекуперативний тощо) та визначено відповідні потоки енергії в кожному з режимів.

У третьому розділі сформовано алгоритми перемикання режимів роботи гібридної установки з урахуванням параметрів навантаження, рівня заряду батареї та швидкісного режиму руху.

У четвертому розділі представлено імітаційну модель системи в середовищі MATLAB/Simulink, що складається з окремих модулів: ДВЗ, мотор-генераторів MG1 та MG2, батареї, планетарної передачі, DC-DC перетворювача та контролера. Проведено моделювання інтегрованої роботи системи та візуалізацію розподілу потужності.

У п'ятому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування проекту: проведено CVP-аналіз, оцінено вартість компонентів, проектування та очікувану рентабельність системи.

У шостому розділі проаналізовано екологічні та безпекові аспекти використання гібридної установки, запропоновано заходи щодо підвищення надійності та пожежної безпеки системи.

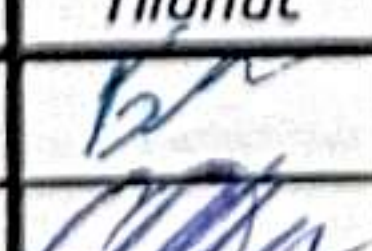
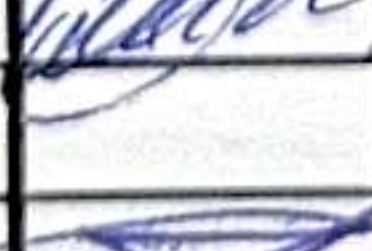


Результати роботи можуть бути використані при проектуванні перспективних гібридних транспортних засобів та оптимізації існуючих систем керування у сфері автомобілебудування.

Випускна кваліфікаційна робота містить 78 сторінок, 22 ілюстрації, 6 таблиць, 19 використаних джерел та 2 додатки.

Ключові слова: ГІБРИДНИЙ АВТОМОБІЛЬ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, СИЛОВА УСТАНОВКА, MATLAB/SIMULINK, МОДЕЛЮВАННЯ, ПЛАНЕТАРНА ПЕРЕДАЧА, ДВЗ, МОТОР-ГЕНЕРАТОР.

ЗМІСТ

	ВСТУП	6
1.	ОГЛЯД ЗА ТЕМОЮ ТА ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ	9
1.1	Огляд існуючих аналогів гібридних схем	9
1.2	Вибір датчиків	15
1.3	Двигун внутрішнього згоряння	22
1.4	Мотор-генератор	24
1.5	Вибір перетворювача напруги	25
1.6	Високовольтна батарея	28
1.7	Пристрій розподілу потужності	30
1.8	Лінійний графік роботи планетарної передачі	31
1.9	Система управління гібридною установкою	34
1.10	Принципова схема	35
2	РЕЖИМИ РУХУ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ	37
3	АЛГОРИТМ РЕЖИМІВ РУХУ	50
4	МОДЕЛЮВАННЯ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ В СЕРЕДОВИЩІ SIMULINK	51
4.1	Двигун внутрішнього згоряння	52
4.2	Електродвигун MG2	53
4.3	Планетарна передача	54
4.4	Контролер	55
4.5	Генератор MG1	56
4.6	Високовольтна батарея	57
4.7	DC-DC перетворювач	58
4.8	Інтегрована модель послідовно-паралельної гібридної силової установки	59
4.9	Візуалізація розподілу потужності за допомогою Scopes	60

КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Бурдинський					
Перевір.		Маковкін					
Н. Контр.		Бабак					
Затверд.		Лиха					
Розробка системи керування та моделювання роботи силової установки гібридного автомобіля					Літ.	Арк.	Акрушів
						4	81
					ХНУ АТс-22-2		

5	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ	61
5.1	Аналіз співвідношення витрат і прибутку	61
5.2	Розрахунок витрат на етапі проєктування	62
5.3	Розрахунок вартості проєктування системи	64
5.4	Розрахунок вартості матеріалів і комплектуючих	66
5.5	Розрахунок собівартості та ринкової ціни	67
5.6	Графічний метод CVP-аналізу	68
6	БЕЗПЕКА ТА ЕКОЛОГІЧНІСТЬ ПРОЄКТУ	70
6.1	Системний аналіз надійності та безпеки системи	70
6.2	Заходи підвищення надійності та безпеки	72
6.3	Пожежна безпека під час виробництва та монтажу пристрою	73
6.4	Захист довкілля	76
	ВИСНОВКИ	78
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79
	ДОДАТКИ	81

ВСТУП

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра на тему «Розробка системи керування та моделювання роботи силової установки гібридного автомобіля».

В умовах стрімкого погіршення екологічної ситуації у містах, що обумовлено значним впливом автомобільного транспорту на навколишнє середовище, питання екологічної безпеки та енергоефективності набуває особливої актуальності. Основною причиною цього є забруднення атмосферного повітря шкідливими викидами двигунів внутрішнього згоряння, які застосовуються в більшості транспортних засобів. Саме тому одним із пріоритетних напрямів розвитку сучасного автомобілебудування є зменшення кількості шкідливих викидів у довкілля та покращення паливно-енергетичних характеристик транспортних засобів, зокрема міського типу.

Гібридний автомобіль — це високоефективний транспортний засіб, оснащений комбінованою силовою установкою типу «електродвигун – двигун внутрішнього згоряння». Така установка може працювати як на традиційному паливі, так і на електроенергії, накопиченій у акумуляторній батареї. Основна перевага гібридних автомобілів полягає у зниженні витрат пального та зменшенні викидів шкідливих речовин. Це досягається завдяки автоматизованому керуванню режимами роботи силової установки за допомогою бортового комп'ютера. Система керування здійснює, зокрема, відключення двигуна внутрішнього згоряння під час зупинки у транспортному потоці, що дозволяє продовжити рух винятково за рахунок електричної енергії. Крім того, передбачено застосування режиму рекуперації — перетворення електродвигуна в генератор для підзарядки акумулятора під час гальмування або зниження швидкості.

У світлі наведених екологічних та економічних проблем стає очевидною актуальність теми кваліфікаційної роботи бакалавра «Розробка

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

системи керування та моделювання роботи силової установки гібридного автомобіля». Така розробка відповідає сучасним потребам у сфері сталого транспорту та енергоощадних технологій.

Об'єктом дослідження є електрообладнання автомобіля.

Предметом дослідження є система керування рухом гібридного автомобіля.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є розробка ефективної системи керування, яка забезпечує оптимальний розподіл енергії в гібридній силовій установці з мінімальними витратами, високим рівнем безпеки та з урахуванням екологічних вимог.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- провести огляд сучасних типів сенсорів та датчиків;
- дослідити існуючі схеми гібридних силових установок;
- розробити загальний алгоритм функціонування системи;
- створити принципову електричну схему пристрою та елементів живлення;
- визначити алгоритм роботи у різних режимах руху;
- розрахувати собівартість розробки та визначити орієнтовну ринкову ціну;
- вибрати методику визначення точки беззбитковості, тобто моменту окупності проєкту;
- провести системний аналіз надійності та безпеки системи;
- розробити комплекс заходів із безпеки, зокрема побудову дерева причин відмов;
- ідентифікувати потенційно небезпечні для довкілля фактори та запропонувати шляхи їхньої нейтралізації або зниження впливу.

Практична цінність цієї роботи полягає у можливості застосування розробленої системи для більш ефективного розподілу електричної та

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

механічної енергії в гібридному транспортному засобі, що сприяє зниженню енергоспоживання та підвищенню екологічної безпеки.

Методичне забезпечення дипломного проєкту включає використання науково-технічної та періодичної літератури, довідників, нормативно-технічної документації (ДСТУ, ПУЕ), а також інформаційних ресурсів з мережі Інтернет.

					<i>КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		8

1. ОГЛЯД ЗА ТЕМОЮ ТА ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

1.1 Огляд існуючих аналогів гібридних схем

На сьогодні у світовій практиці відомо три основні варіанти побудови гібридних силових установок (ГСУ) для транспортних засобів, які розрізняються за способом взаємодії двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) та електродвигуна. Ці варіанти включають: послідовну, паралельну та послідовно-паралельну схеми. У цьому розділі розглянемо перші дві, найбільш поширені на практиці.

Послідовна схема гібридної установки

У послідовній схемі ДВЗ не має прямого механічного з'єднання з колесами автомобіля. Він працює виключно як привід для генератора, який перетворює механічну енергію в електричну. Надалі ця енергія:

- або безпосередньо живить тяговий електродвигун (ТЕД);
- або подається в накопичувач енергії (аккумуляторну батарею);
- або розподіляється між обома споживачами.

Тяговий електродвигун виконує всю роботу з приводу транспортного засобу в усіх режимах руху, а під час уповільнення або гальмування переходить у режим генерації, забезпечуючи рекуперацію енергії, яка повертається до аккумулятора.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

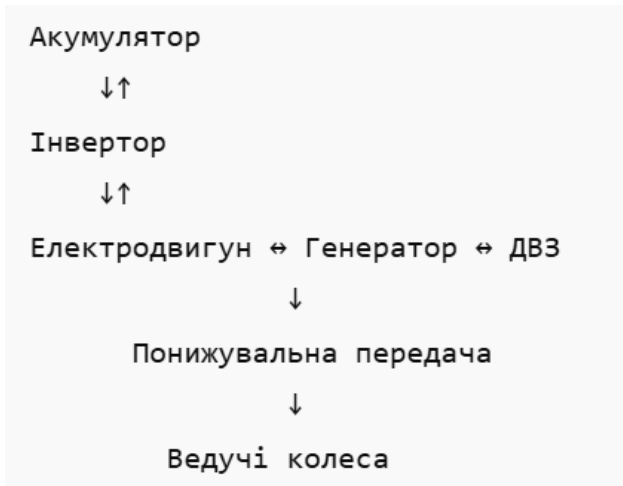


Рисунок 1.1 – Структурна схема гібридної силової установки послідовного типу

Переваги:

- ДВЗ працює у сталому, оптимальному для витрати пального режимі;
- спрощене керування установкою;
- відсутність складних трансмісійних вузлів.

Недоліки:

- Низький ККД перетворення енергії через багатоетапну передачу (механічна → електрична → механічна);
- ускладнення в разі необхідності забезпечення високої потужності.

Подібні силові установки застосовуються в моделях *Toyota Coaster Hybrid* та у деяких міських автобусах із гібридним приводом.

Паралельна схема гібридної установки

У паралельній схемі обидва двигуни — ДВЗ і ТЕД — механічно з'єднані з провідними колесами через трансмісію. Електродвигун у цьому випадку отримує живлення від акумуляторної батареї. Розподіл моменту між

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

джерелами енергії здійснюється автоматизованою системою керування залежно від умов руху.

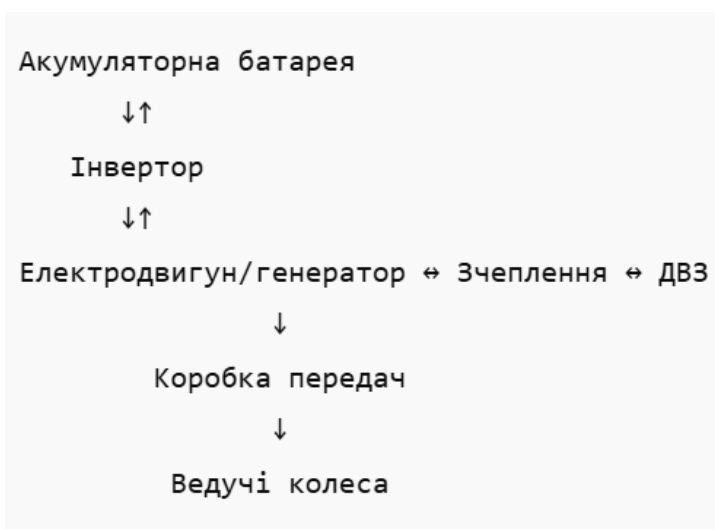


Рисунок 1.2 – Структурна схема гібридної силової установки паралельного типу

Переваги:

- Вищий ККД у порівнянні з послідовною схемою, оскільки ДВЗ передає енергію безпосередньо на колеса;
- можливість використання одного електродвигуна замість двох окремих (тягового й генераторного).

Недоліки:

- Ускладнення трансмісії для забезпечення ефективного підключення/відключення електродвигуна;
- ДВЗ працює не завжди у найбільш економічному режимі через змінні навантаження;
- складніше програмне забезпечення системи керування.

Серед варіантів паралельної схеми виділяють також так звану розділену паралельну схему, у якій електродвигун встановлюється на іншому мосту, ніж основний привід від ДВЗ. Наприклад, у передньопривідному

автомобілі ДВЗ з'єднаний з передніми колесами, а електромотор – з задніми. Така конструкція дозволяє зменшити складність трансмісії, проте вимагає додаткового керування тягою на обох осях. Прикладом застосування є *Honda Civic Hybrid*.

Сумарний крутний момент у паралельній схемі

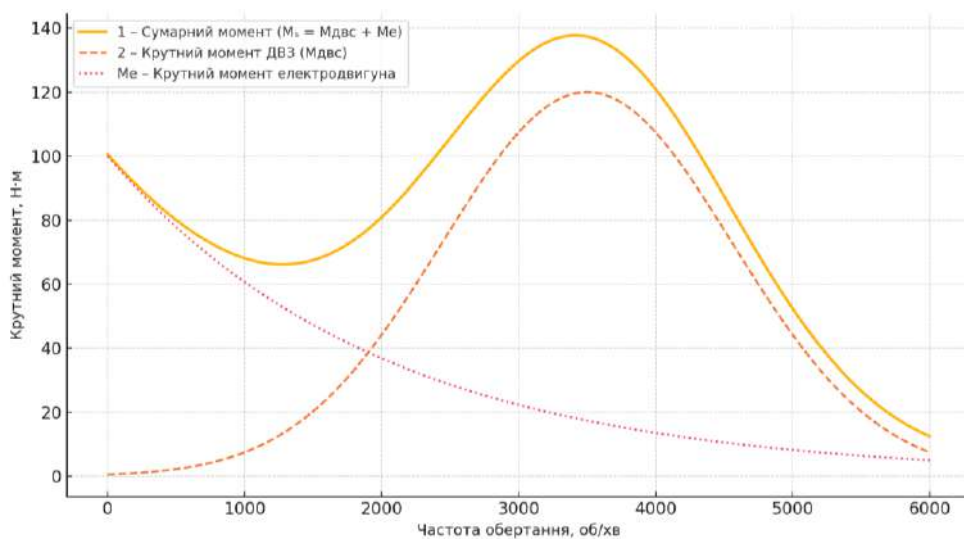


Рисунок 1.3 – Збільшення крутного моменту при спільній роботі ДВЗ та електродвигуна в паралельній схемі.

- 1 – сумарний крутний момент системи ($M_s = M_{двс} + M_e$);
- 2 – крутний момент двигуна внутрішнього згорання ($M_{двс}$);
- M_e – момент електродвигуна на низьких обертах;
- Частота обертання – n , об/хв..

У режимах інтенсивного розгону або руху з підвищеним навантаженням одночасне використання обох джерел енергії забезпечує підвищення динаміки автомобіля.

Послідовно-паралельна схема гібридної установки

У звичайних умовах руху на часткових навантаженнях цілком достатньо двигуна внутрішнього згорання з порівняно невеликим робочим об'ємом. Проте в ситуаціях, коли необхідна підвищена потужність або додатковий крутний момент (наприклад, під час обгону чи руху вгору), на допомогу ДВЗ приходить електродвигун.

Варто особливо підкреслити, що технічні характеристики ДВЗ та електродвигуна суттєво відрізняються. Так, ДВЗ розвиває максимальний крутний момент лише при відносно високих обертах, тоді як електродвигун забезпечує найбільший момент практично з нульових обертів. Саме тому їхня спільна робота забезпечує необхідні динамічні якості автомобіля навіть за умови використання ДВЗ з меншою потужністю, що підвищує паливну економічність без втрати в керованості та швидкодії.

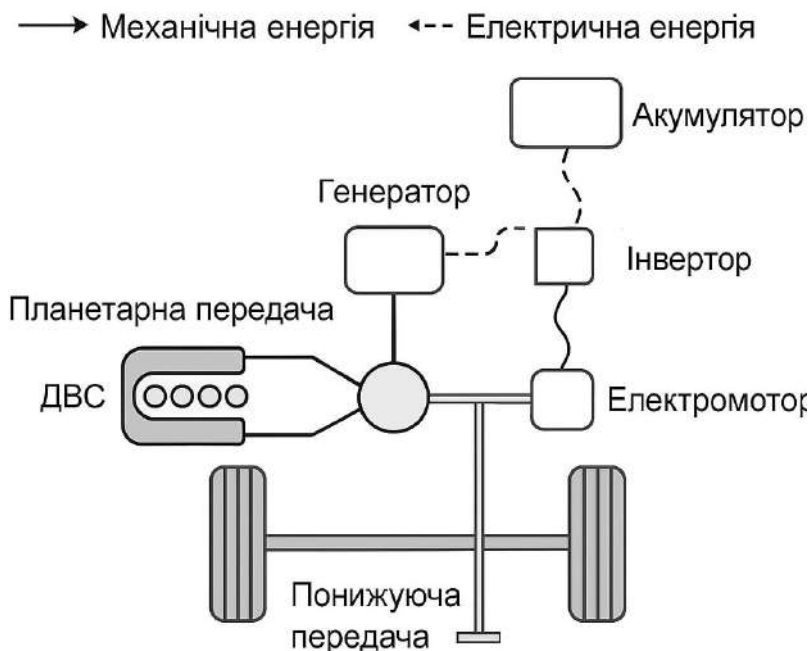


Рисунок 1.4 – Схема послідовно-паралельної гібридної силової установки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ

Арк.

13

Конструкція та принцип дії

Послідовно-паралельна схема поєднує в собі елементи як послідовної, так і паралельної схем для досягнення максимальної ефективності. Силова установка має два рушії (ДВЗ та електродвигун), які можуть працювати:

- окремо (тільки електропривід або тільки ДВЗ),
- або одночасно — залежно від режиму руху, навантаження і рівня заряду акумулятора.

У разі потреби система може приводити автомобіль у рух, паралельно генеруючи електроенергію за допомогою генератора, як у послідовній схемі. Водночас планетарний розподільник потужності плавно розподіляє енергопотоки від ДВЗ між колесами і генератором, забезпечуючи високу гнучкість у керуванні енергетичними потоками. Такий принцип використано в Toyota Hybrid System (THS).

Це дозволяє:

- максимально ефективно використовувати енергію ДВЗ;
- розширити можливості рекуперації;
- зменшити витрати пального в міському циклі.

Приклади застосування

Системи типу Hybrid Synergy Drive (HSD) реалізовано в таких моделях:

- *Toyota Prius* (у т.ч. plug-in-версії),
- *Toyota Estima Hybrid*,
- *Toyota Highlander Hybrid*,
- *Lexus RX400h, GS 450h, LS 600h*.

Ця технологія була придбана також компаніями *Ford* і *Nissan* і використана у гібридах *Ford Escape Hybrid* та *Nissan Altima Hybrid*.

Зокрема, *Toyota Prius* є лідером серед гібридних автомобілів за обсягами продажів. Модель демонструє виняткову паливну ефективність: у міському циклі витрата становить всього 4 літри на 100 км, що менше, ніж на трасі — унікальний випадок серед автомобілів з ДВЗ.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Висновки щодо гібридних силових установок

Отже, хоча гібридні технології не є остаточним вирішенням екологічних проблем автотранспорту, вони виступають як важливий перехідний етап до повністю електричної мобільності із нульовим рівнем викидів. Гібридні платформи дозволяють:

- випробувати та вдосконалити ключові компоненти майбутніх електрокарів;
- створювати місткість і компактність акумуляторів;
- покращити рекуперацію енергії;
- впровадити швидке зарядження;
- розробити ефективні електродвигуни та полегшені кузоваи.

Саме масове виробництво таких вузлів наблизить той момент, коли замість поїздки на заправку достатньо буде підключити автомобіль до домашньої розетки на годину – і подорожувати цілий день без підзарядки.

1.2 Вибір датчиків

Високоточний датчик струму в гібридних та електричних транспортних засобах

Сучасні екологічні проблеми, такі як глобальне потепління, забруднення повітря тощо, перебувають у центрі уваги науковців усього світу. Одним із технічних рішень, що дозволяє зменшити навантаження на довкілля, стало створення гібридних автомобілів, які характеризуються зниженими викидами відпрацьованих газів і меншим споживанням пального. Зі зменшенням вартості їх виробництва зростає й попит на такі транспортні засоби. Паралельно відбувається активна популяризація електромобілів та автомобілів на водневих паливних елементах, які мають нульові шкідливі викиди.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Вимоги до автомобільних датчиків струму

Для електрифікованих транспортних засобів — гібридів, електрокарів, автомобілів на паливних елементах — одним із ключових завдань є точне вимірювання електричних струмів. Необхідно відслідковувати:

- струм електродвигуна під час руху;
- струми заряду та розряду акумуляторної батареї.

Ці дані критично важливі для роботи систем енергоменеджменту, тому кількість датчиків, що виконують функцію "очей" електронної системи, значно зросла в сучасних транспортних засобах.

У таблиці 1.1 представлено порівняння основних типів датчиків струму, що використовуються в автомобілях. Кожен з них має свої переваги і недоліки щодо точності, ступеня ізоляції, типу вимірюваного струму, кількості компонентів, енергоспоживання та вартості.

Таблиця 1.1 – Основні типи датчиків струму

МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ	РЕЗИСТОРНИЙ ШУНТ	ТРАНСФОРМАТОР СТРУМУ	МАГНІТОПР ОПОРЦІЙНИЙ МЕТОД	МЕТОД МАГНІТНОГО БАЛАНСУ
Чутливий елемент	Резистор	—	Датчик Холла	Датчик Холла
Точність	Низька	Дуже низька	Висока	Дуже висока
Ізоляція	Дуже низька	Висока	Висока	Висока
Вимірюваний струм	АС/DC	АС	АС/DC	АС/DC
Кількість компонентів	Велика	Середня	Середня	Низька
Споживання струму	Середнє	Низьке	Низьке	Середнє
Вартість	Низька	Низька	Середня	Висока

Обґрунтування вибору оптимального типу датчика струму

1. Вимірювання струмів змінного та постійного струму. Акумулятори електротранспорту подають постійний струм, тоді як у силових інверторах та двигунах використовується змінний. Таким чином, необхідно

вимірювати обидва типи струму, що унеможливило застосування трансформаторів, які працюють лише з АС.

2. Висока точність. Струми, що генеруються інвертором або акумулятором, часто розраховуються на основі даних з кількох датчиків. Сумарна похибка може негативно впливати на керування. Тому необхідна висока точність вимірювань навіть у широкому температурному діапазоні, що виключає використання резисторного шунта та трансформатора.

3. Висока ізоляція. У сучасних електромобілях використовуються високовольтні батареї (до 600 В і більше). Необхідно надійно ізолювати силові кола від низьковольтних систем керування. Це означає, що датчик повинен бути безконтактним та мати високий рівень ізоляції. Резисторний шунт не відповідає цим вимогам без додаткової ізоляції, що ускладнює конструкцію.

4. Надійність. Електротранспорт експлуатується в складних умовах: постійні вібрації, температурні коливання, волога. Тому датчик повинен бути стабільним і довговічним, не чутливим до зовнішніх перешкод.

Оптимальним вибором для використання в електро- та гібридному транспорті є датчики магнітного балансу або магнітопропорційні датчики Холла, які відповідають вимогам щодо точності, ізоляції, універсальності, надійності й безпеки.

Датчик струму TDK SAA-200: приклад реалізації вимог автомобільних стандартів

Сучасні автомобільні стандарти висувають суворі вимоги до електронного обладнання щодо стійкості до впливу електростатичного розряду, імпульсних перешкод, температурних коливань, вібрацій та ударних навантажень.

У відповідь на ці виклики японська компанія TDK розробила високоточний датчик струму SAA-200, який став першим представником однойменної серії. Цей датчик був інтегрований у численні автомобілі й

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

отримав високу оцінку завдяки стабільній роботі у складних умовах експлуатації.

Особливості датчика SAA-200

Для забезпечення високої точності вимірювань у TDK віддали перевагу методу магнітного балансу, що є різновидом безконтактного індуктивного методу, у порівнянні з магнітопропорційним підходом. Саме метод магнітного балансу дозволяє досягти максимальної точності, стабільності та відтворюваності результатів.

Принцип роботи методу магнітного балансу

1. Конструкція: У повітряному зазорі феромагнітного сердечника з високою магнітною проникністю розміщено датчик Холла. Через отвір у сердечнику проходить провідник із вимірюваним струмом (наприклад, кабель або струмова шина).

2. Формування магнітного потоку: Струм, що протікає через провідник, створює магнітний потік B_1 , який діє на датчик Холла. Його сигнал подається на операційний підсилювач, який керує струмом у обмотці зворотного зв'язку.

3. Принцип балансу: У відповідь на збурення (появу потоку B_1) система створює компенсуючий протилежний магнітний потік B_2 за допомогою обмотки зворотного зв'язку. Схема автоматично підтримує рівновагу: $B_1 = B_2$, а отже — потік через датчик Холла прагне до нуля.

4. Вимірювання: Із закону збереження магнітного потоку:

$$I_1 \times N_1 = I_2 \times N_2, I_1 \times N_1 = I_2 \times N_2,$$

де:

- I_1 — струм у провіднику;
- N_1 — кількість витків струмової обмотки (зазвичай 1 виток);
- I_2 — струм у зворотній обмотці;
- N_2 — кількість витків зворотної обмотки (тисячі витків).

Приклад розрахунку:

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Якщо $I_1=200$, $I_1 = 200$ А, $N_1=1$, $N_1 = 1$, $N_2=4000$, $N_2 = 4000$, то:

$$200 \times 1 = I_2 \times 4000 \Rightarrow I_2 = 0,05 \text{ А. } 200 \times 1 = I_2 \times 4000$$

Цей струм протікає через вимірювальний резистор, на якому фіксується напруга пропорційна первинному струму I_1 .

Переваги методу магнітного балансу

- Висока точність та лінійність у широкому діапазоні струмів.
- Стійкість до насичення сердечника, що покращує роботу у високострумівих режимах.
- Мінімальна чутливість до температурних змін.
- Повна гальванічна ізоляція між вимірюваним струмом та електронікою керування.
- Низьке споживання енергії та відсутність нагріву.

Лінійність вихідної характеристики

На відміну від магнітопропорційного методу, де робочий діапазон обмежений наступом магнітного насичення, метод магнітного балансу активно компенсує збурення, утримуючи лінійність у всьому діапазоні. Це забезпечує високу роздільну здатність і стабільність навіть при значних змінах вхідного струму.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

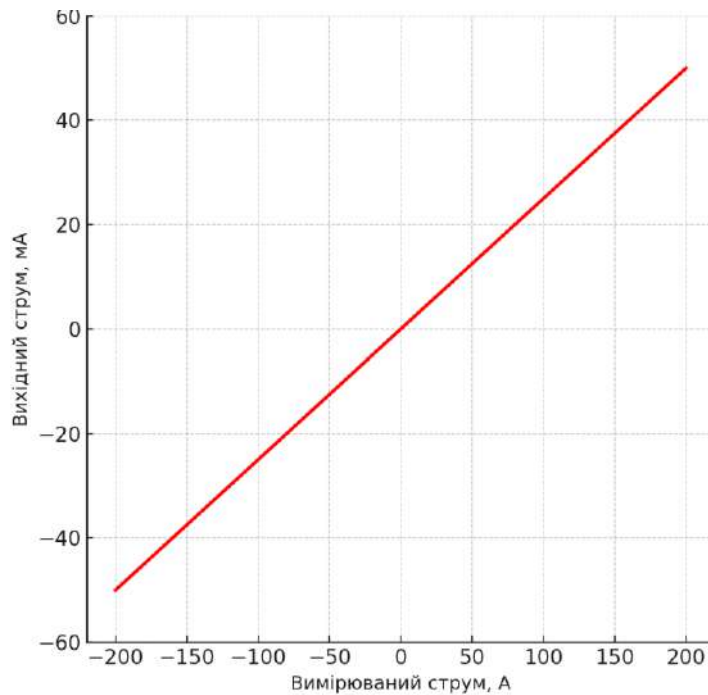


Рисунок 1.7 — Приклад вихідної характеристики

На відміну від магнітопропорційного методу, при використанні методу магнітного балансу магнітний потік усередині сердечника дорівнює нулю завдяки компенсуючому магнітному потоку, створеному котушкою зворотного зв'язку. Цей принцип був докладно описаний у попередньому розділі.

Таблиця 1.2 – Порівняння датчиків струму поточного та нового покоління

ПАРАМЕТР	ПОТОЧНЕ ПОКОЛІННЯ ДАТЧИКІВ	НОВЕ ПОКОЛІННЯ ДАТЧИКІВ СТРУМУ
Метод	Магнітний баланс	Магнітний баланс
Напруга живлення	± 12 В	+5 В
Вихідний сигнал	Вихідний струм	Вихідна напруга
Приклад (струм \rightarrow сигнал)	+200 А \rightarrow +50 мА	+200 А \rightarrow +4,5 В
	0 А \rightarrow 0 мА	0 А \rightarrow +2,5 В
	-200 А \rightarrow -50 мА	-200 А \rightarrow +0,5 В

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ

Арк.

20

Відсутність магнітного насичення

Завдяки балансуванню магнітного потоку у сердечнику, насичення магнітопроводу не виникає навіть при великих струмах, а лінійність вихідної характеристики залишається незмінно високою, незалежно від властивостей самого датчика Холла.

Температурна стабільність

У традиційних датчиках Холла коефіцієнт підсилення залежить від температури, що негативно впливає на точність вимірювання. Натомість у датчиках, виготовлених за методом магнітного балансу, температура впливає лише на невелике температурне зміщення нуля, а в цілому температурна характеристика наближена до ідеальної, що забезпечує високу точність у широкому температурному діапазоні.

Подальший розвиток

Сучасні блоки керування все частіше працюють від джерел живлення 5 В, що стало новим стандартом у галузі. Крім того, через зручність використання виробники віддають перевагу джерелам напруги на виході замість джерел струму.

У перспективі передбачається розширення діапазону вимірювання струму з ± 200 А до ± 300 А, що дозволить використовувати ці датчики у ще ширшому спектрі транспортних засобів та електротехнічного обладнання.

Ключові особливості датчика SAA-200

- Висока завадостійкість вихідного сигналу;
- Точність вимірювання не залежить від величини струму чи температури;
- Бездотиковий метод, що забезпечує повну гальванічну ізоляцію від провідників струму;
- Успішне проходження випробувань на надійність у складі автомобільних електронних систем.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

1.3. Двигун внутрішнього згоряння

В основі аналізу — двигун 1NZ-FXE.

Цей двигун став першим у своїй серії, і його виробництво було розпочате в Японії. Діаметр циліндра становить 75 мм, хід поршня — 84,7 мм. У конструкції застосовуються ковани шатуни та алюмінієвий впускний колектор. Ступінь стискання дуже висока — 13:1. Завдяки запізненню закриття впускного клапана, що імітує цикл Аткинсона (на відміну від звичайного циклу Отто), підвищується ефективність двигуна.

Через пізнє закриття впускного клапана частина повітряно-паливної суміші повертається у впускний колектор, що знижує потужність, але позитивно впливає на економічність та екологічність. Така конструкція ідеально підходить для гібридних транспортних засобів типу HSD (Hybrid Synergy Drive), де максимальні значення потужності та крутного моменту не є критичними. Потужність двигуна становить 76 к.с. при 5000 об/хв, а крутний момент — 115 Н·м при 4000 об/хв.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики двигуна 1NZ-FXE

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕННЯ
Кількість циліндрів	4
Розташування циліндрів	Рядне
Клапанний механізм	VVT-i, DOHC 16V
Робочий об'єм, л (см ³)	1,5 (1497)
Потужність, к.с. (Н·м)	76 (115)
Система упорскування	EFI, розподілена
Система запалювання	DIS-4

Двигун працює за циклом Аткинсона, що забезпечує довший такт розширення, порівняно з тактом стискання, що дозволяє досягти більшої ступені розширення, ніж стискання. Такий підхід реалізовано у технології

EXlink, яка дозволяє значно зменшити насосні втрати та підвищити тепловий ККД у порівнянні з класичним двигуном Отто.

Для порівняння, в традиційному двигуні Отто довжина всіх тактів приблизно однакова, тоді як у EXlink хід розширення та випуску значно довший, а ступінь розширення перевищує ступінь стискання більше ніж у 1,4 рази.

Ще у XIX столітті двигун Аткінсона демонстрував виняткову паливну ефективність, однак через складність механіки не отримав поширення. Зараз завдяки комп'ютерному управлінню фазами газорозподілу така конструкція стала застосовуваною у сучасних гібридних авто.

Цикл Аткінсона і цикл Міллера

Коли мова йде про двигун Аткінсона, мається на увазі цикл Аткінсона — модифікований цикл Отто, запропонований інженером Джеймсом Аткінсоном у 1886 році. Аткінсон змінив співвідношення між тактами циклу Отто, подовживши робочий хід (3-й такт) за рахунок ускладнення конструкції кривошипно-шатунного механізму.

Сучасні двигуни, такі як у Toyota Prius, Lexus HS 250h, Lexus CT 200h, Ford Fusion, реалізують цикл Міллера, який є спрощеною інтерпретацією циклу Аткінсона. Вони працюють на звичайному бензині (AI-95) зі ступенем стискання 13:1. Закриття впускного клапана, оберти та навантаження контролюються електронним блоком управління двигуном.

Важливо, що електродвигун у гібридних авто бере на себе пікові навантаження, дозволяючи бензиновому двигуну працювати в найбільш ефективному режимі — на низьких обертах і з високою економічністю.

Змінна ступінь стискання

Двигуни цієї моделі фактично мають змінну ступінь стискання. Цей параметр вважається одним із ключових для двигуна, оскільки чим вища ступінь стискання, тим вищі ККД та потужність, а також краща економічність.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Однак необмежене зростання ступеня стискання призводить до детонації — вибухового, неконтрольованого згоряння суміші, що може пошкодити двигун. Особливо це критично для двигунів із турбонаддувом, де зростає навантаження та температура.

Таким чином, баланс між ступенем стискання та надійністю є важливим завданням для сучасного моторобудування.

1.4 Мотор-генератор

Для використання як електричного двигуна був обраний мотор-генератор автомобіля Toyota Prius, що є вдалим вибором для цієї технології.

У трансмісії автомобіля Prius використовуються два мотор-генератори, які, хоча й мають схожу конструкцію, відрізняються розмірами. Обидва мотор-генератори є синхронними електричними трьохфазними машинами змінного струму, що мають постійні магніти для возбуждення. Хоча це звучить складно, насправді все набагато простіше. Ротор мотор-генератора (крутильна частина, з'єднана з валом) фактично є постійним магнітом і не має обмоток чи електричних з'єднань. У статора (нерухомої частини мотор-генератора) вбудовано три комплекти обмоток.

При подачі електричного струму в один з комплектів обмоток ротор рухається в певне положення. Коли струм по черзі проходить через всі три комплекти обмоток спочатку в одному напрямку, а потім в протилежному, ротор переміщається з одного положення в інше, здійснюючи обертання. Це дуже спрощене пояснення роботи синхронного трьохфазного двигуна, але воно дає уявлення про принцип роботи мотор-генератора.

Однак мотор-генератор може працювати не тільки в режимі електродвигуна, а й у режимі генератора. Коли вал мотор-генератора обертається від зовнішнього механічного джерела енергії, в обмотках статора індукуються електричний струм, який можна використовувати для

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заряджання високовольтної акумуляторної батареї або для живлення іншого електричного двигуна.

Мотор-генератор 1 (MG1)

MG1 з'єднаний з сонячною шестернею планетарного механізму розподілу потужності. Цей мотор-генератор є меншим з двох і має максимальну потужність 18 кВт. MG1 зазвичай застосовується для стартерного запуску двигуна внутрішнього згорання або для регулювання швидкості обертання ДВЗ шляхом зміни електричного навантаження (кількості вироблюваної електричної енергії).

Мотор-генератор 2 (MG2)

MG2 з'єднаний з коронковою шестернею планетарного механізму, що дозволяє механічно з'єднувати мотор-генератор через одноступінчастий редуктор з ведучими колесами автомобіля. Тому MG2 може безпосередньо приводити в рух автомобіль. Максимальна потужність MG2 перевищує потужність MG1 і становить 50 кВт. Іноді MG2 називають тяговим електродвигуном, оскільки його основне завдання — приводити автомобіль в рух або здійснювати регенерацію енергії при гальмуванні. У разі необхідності MG2 переходить у режим генератора для регенерації енергії.

Оба мотор-генератори оснащені жидкостним охолодженням, що забезпечує ефективне відведення тепла та стабільну роботу навіть при високих навантаженнях.

1.5 Вибір перетворювача напруги

Інвертор — складний електронний пристрій, який призначений для:

- перетворення постійного струму високовольтної батареї (HV battery) у трьохфазний змінний струм для роботи мотор-генераторів MG 1 і MG 2 та навпаки;
- зворотного перетворення енергії (рекуперація — від лат. *recuperatio* — повернення частини матеріалу чи енергії, що витрачаються під

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

час технологічного процесу, для повторного використання в тому ж процесі, в даному випадку перетворення механічної енергії в електричну). За це в блоці інвертора відповідає пристрій, званий «конвертером»;

- регулювання та розподілу енергії, що надходить від MG 1;
- електронного управління мотор-генераторами MG 1 і MG 2 залежно від режимів роботи двигуна внутрішнього згоряння на основі узгоджених дій з іншими електронними пристроями автомобіля.

Оскільки мотор-генератори працюють від змінного трифазного струму, а батарея, як і всі батареї, виробляє постійний струм, потрібен пристрій, який би перетворював один тип струму в інший. Кожен мотор-генератор має «інвертор», що виконує цю функцію. Інвертор визначає положення ротора за допомогою датчика на валу MG і керує струмом в обмотках мотора, щоб підтримувати обертання мотора на необхідній швидкості та з необхідним обертовим моментом. Інвертор змінює струм в обмотці, коли магнітний полюс ротора проходить повз цю обмотку і переходить до наступної. Крім того, інвертор підключає напругу батареї до обмоток і потім дуже швидко вимикає її (з високою частотою), щоб змінити середнє значення струму і, відповідно, обертовий момент.

Використовуючи самоіндуктивність моторних обмоток (властивість електричних котушок, що протидіють зміні струму), інвертор може пропускати більший струм через обмотку, ніж надходить від батареї. Він працює тільки тоді, коли напруга на обмотках менша, ніж напруга батареї, отже, енергія зберігається. Однак оскільки значення струму через обмотку визначає обертовий момент, цей струм дозволяє досягти великого обертового моменту на низьких оборотах. Приблизно до 11 км/год MG2 здатний створити обертовий момент 350 Нм (для Prius NHW-20 — 400 Нм) на редукторі. Саме тому автомобіль може почати рух з прийнятним прискоренням без використання коробки передач, що зазвичай збільшує обертовий момент двигуна внутрішнього згоряння. При короткому замиканні

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

або перегріві інвертор вимикає високовольтну частину машини. В одному блоці з інвертором знаходиться і конвертер, який призначений для зворотного перетворення змінної напруги в постійну — 13,8 вольт.

Система охолодження інвертора

Інвертор сильно нагрівається під час роботи, і якщо б не мав власної системи охолодження, він швидко вийшов би з ладу після перегріву. У кузовах 10-го і 11-го покоління інвертор має окремі контури охолодження і окремий радіатор. В кузові 20-го покоління радіатор інвертора був об'єднаний з радіатором двигуна.

Для локального охолодження інвертор оснащений ребрами і плитою охолодження.

Система охолодження інвертора включає:

- радіатор;
- водяну помпу (електричний водяний насос);
- розширювальний бачок;
- з'єднувальні патрубки.

Управління каскадом модуля IGBT

Роботу каскаду управління модулем IGBT можна описати на прикладі модуля з трьох транзисторів. Сигнал управління ключами надходить на вхід драйвера (1) (на платі це мікросхеми VM122). Далі сигнал через посилювач потужності (2) надходить на вхід управляючих затворів самих транзисторів. В схемі передбачене обмеження пікових токів, що проходять через кожен транзистор. Ця функція реалізована за допомогою схем токової захисти (3), які передбачені для кожного транзистора окремо. Інформація про струм з кожного транзистора надходить на вхід відповідної схеми токової захисти, і в разі появи стрибків струму схема повинна «закривати» відповідний ключ, тобто вона працює як регулятор. У разі виникнення подібної ситуації з середнім транзистором, відбувається повне відключення всього модуля.

Принцип роботи інвертора з каскадом IGBT:

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Інвертор — це пристрій, що перетворює постійний струм з акумулятора або тягової батареї у змінний струм, необхідний для живлення тягового електродвигуна.

Основним елементом силової частини інвертора є IGBT-транзистори (Insulated Gate Bipolar Transistor), які поєднують високу швидкодію МОП-транзистора та високу струмонесучу здатність біполярного транзистора.

Схематично роботу інвертора можна описати так:

DC-джерело (акумулятор або генератор) подає живлення на інвертор;

IGBT-мости працюють у режимі високочастотного комутування (PWM – широтно-імпульсна модуляція);

Комутування формує трьохфазний змінний струм із керованою частотою та амплітудою;

Змінний струм подається на обмотки електродвигуна, створюючи обертове магнітне поле.

Переваги використання IGBT в інверторах:

Висока ефективність (ККД понад 95%);

Надійність при роботі з високими струмами та напругами;

Можливість точного регулювання швидкості обертання електродвигуна.

1.6 Високовольтна батарея

Високовольтна батарея в 20-му кузові Toyota Prius (Gibrid) складається з 28 модулів, у кожному з яких міститься 7 елементів номінальним напругою 1,2 В. Це дозволило збільшити напругу з 320 В (в 10-му кузові) до 500 В. Підвищенню напруги також сприяло застосування спеціального пристрою booster. Збільшення номінальної напруги дозволило підвищити потужність MG2 до 50 кВт.

Нікель-металгідридні акумулятори для Prius виготовляє компанія Panasonic EV Energy (PEVE), на 60% належна Тойоті. Батареї типу NiMH

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

швидко йдуть у минуле, а на заміну їм приходять нове покоління літій-іонних акумуляторів, які Тойота вже тестує по всьому світу. Ймовірно, автомобілі з цими батареями будуть дорожчими, але їх можна буде заряджати від побутової електромережі.

Максимальний струм батареї — 80 А при розряді і 50 А при зарядці. Номінальна ємність батареї — 6,5 А·год, однак електроніка автомобіля дозволяє використовувати лише 40% цієї ємності, щоб продовжити термін служби акумулятора. Стан заряду може змінюватися лише між 35% та 90% повного номінального заряду. Помноживши напругу батареї на її ємність, отримуємо номінальний запас енергії — 6,4 МДж (мегаджоулі), а використаний запас — 2,56 МДж. Цієї енергії достатньо, щоб розігнати автомобіль, водія і пасажирів до 108 км/год (без допомоги ДВС) чотири рази. Щоб отримати таку кількість енергії, ДВС знадобилося б приблизно 230 мілілітрів бензину. (Ці цифри наведено для того, щоб уявити обсяг накопиченої енергії в батареї.)

Автомобілем неможливо керувати без пального, навіть якщо стартувати з 90% повного номінального заряду з довгого спуску. Більшу частину часу у вас є приблизно 1 МДж придатної до використання енергії батареї. Багато високовольтних батарей потрапляє в ремонт саме після того, як у власника закінчується бензин (при цьому на табло загоряється індикатор «Check Engine» («Перевір двигун») і трикутник з знаком оклику), але власник намагається «дотягнути» до заправки. Після зниження напруги на елементах нижче 3 В — вони «вмирають». В 20-му кузові японські інженери для збільшення потужності пішли іншим шляхом: вони зменшили кількість елементів до 168, тобто залишили 28 модулів. Але для використання в інверторі напруга батареї підвищується до 500 В за допомогою спеціального пристрою booster. Збільшення номінальної напруги MG2 в кузові NHW-20 дозволило підвищити його потужність до 50 кВт без зміни габаритів.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

1.7 Пристрій розподілу потужності

Як трансмісія був вибраний Розподілювач потужності (Power Split Device, PSD). Основним компонентом трансмісії автомобіля Prius є планетарний механізм, який Toyota використовує як Розподілювач потужності "Power Split Device" (PSD).

Планетарний механізм, іноді званий планетарним рядом, є дуже поширеним пристроєм в автомобілебудуванні. У будь-яку автоматичну коробку передач вбудовано кілька планетарних механізмів. Залежно від необхідної навантаження, шестерні обертаються з певною частотою і в певному напрямку.

Втрати в цій коробці мінімальні, як і її габарити, що дозволяє більш раціонально використовувати потужність. Цей механізм зветься планетарним, оскільки має кілька сателітних шестерень, розташованих по колу, які обертаються навколо центральної шестерні, званої сонячною. Сателітні шестерні вільно обертаються на осях, закріплених на водилі сателітних шестерень, яке також обертається навколо загальної осі планетарного механізму, навколо якої обертається і сонячна шестерня.

Відмінність від реальних планет у тому, що всі сателітні шестерні мають однакові розміри і розташовані на однаковій відстані від загальної осі обертання всього механізму.

Навколо сателітних шестерень розташована зовнішня кільцева (коронна) шестерня, яка за допомогою внутрішніх зубців зацеплюється з усіма сателітними шестернями та також обертається, як і всі деталі планетарного механізму навколо загальної осі обертання.

Колінчатий вал двигуна внутрішнього згорання з'єднаний з водилом планетарного механізму. Оскільки сателітні шестерні мають зацеплення як з сонячною шестернею, що знаходиться в центрі механізму, так і з кільцевою шестернею з зовнішнього боку, при обертанні водила сателітні шестерні

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

намагаються повернути і сонячну, і зовнішню кільцеву шестерні в бік обертання водила.

Завдяки точному підбору розмірів сонячної та зовнішньої кільцевої шестерні (точніше кількості їх зубців) 72% обертового моменту передається на зовнішню шестерню (до ведучих коліс), а решта 28% — на сонячну шестерню (до мотор-генератора MG1). Зверніть увагу, що мова йде не про потужність, а про обертовий момент.

1.8 Лінійний графік роботи планетарної передачі

Графіки залежності роботи ДВС, генератора і електричного мотора.

Автомобіль не заведений.

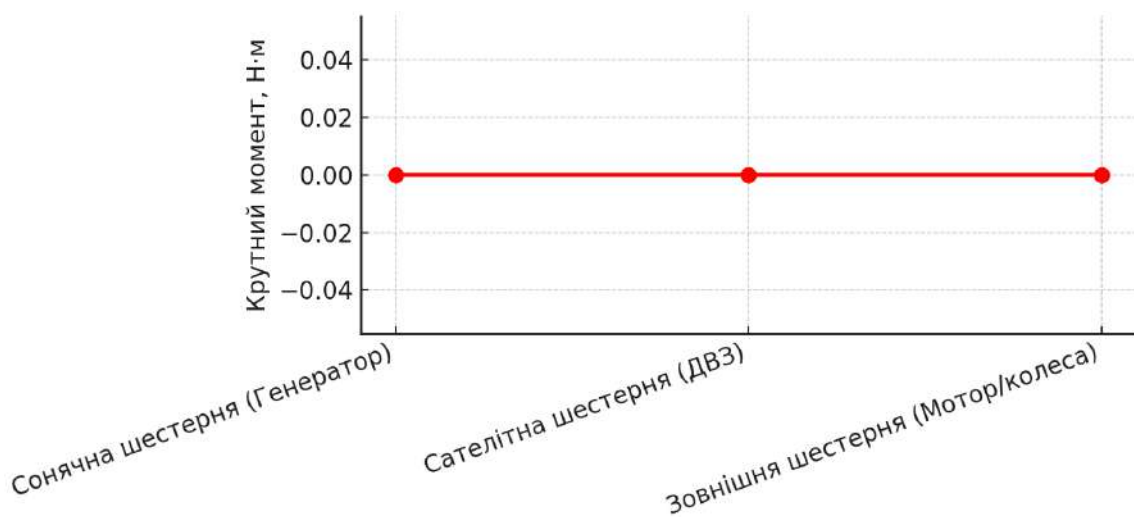


Рисунок 1.27 - Графік залежності крутного моменту в незаведеному стані.

Двигун внутрішнього згоряння, генератор і електромотор не працюють.

Під час запуску.

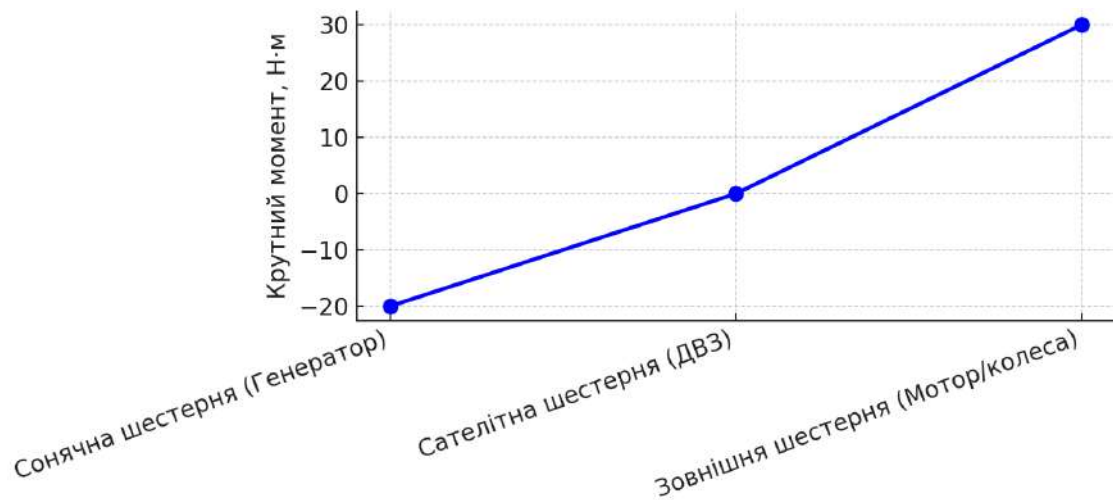


Рисунок 1.28 - Графік залежності крутного моменту під час запуску. Автомобіль при старті руху використовує тільки електричний мотор. Під час розгону зі старту.

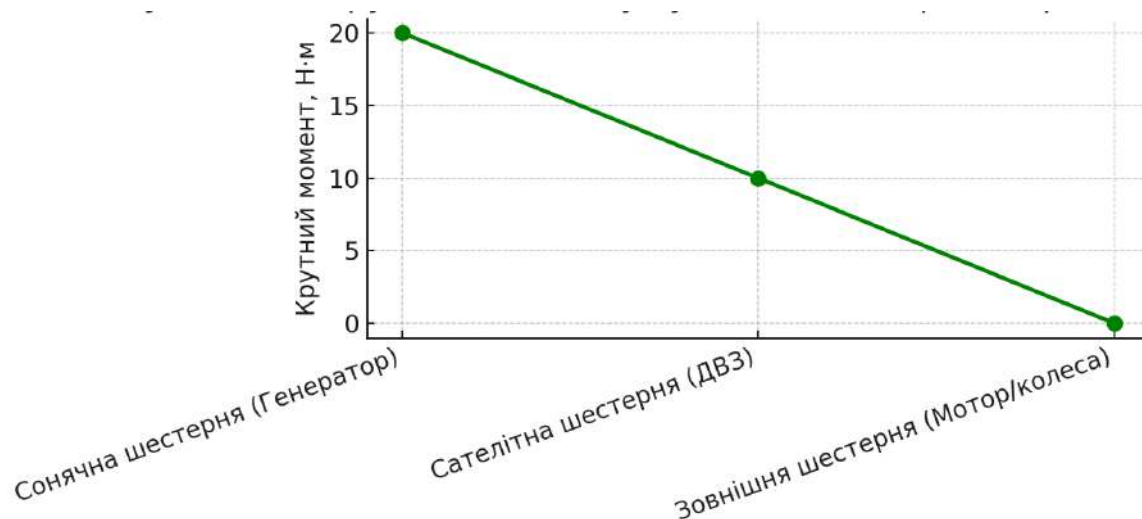


Рисунок 1.29 - Графік залежності крутного моменту під час розгону.

Генератор, який також має функцію стартера, обертає сонячну шестерню і запускає двигун. Коли двигун запускається, генератор починає виробляти електрику, яка заряджає батарею і допомагає електричному мотору працювати.

Під час нормального руху.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

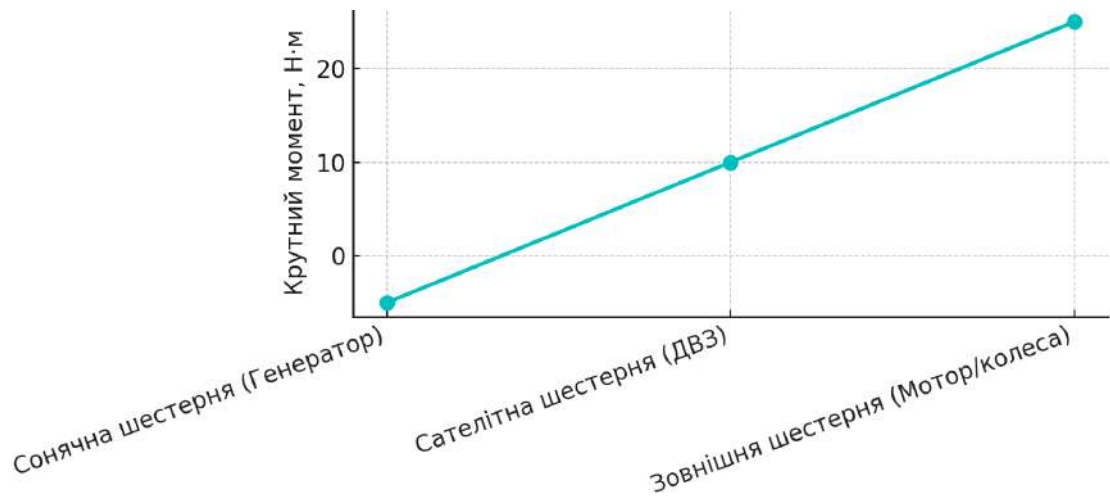


Рисунок 1.30 - Графік залежності крутного моменту під час нормального руху.

У більшості випадків, двигун внутрішнього згоряння використовується для руху. Виробництво енергії в цьому режимі не потрібно.

Під час розгону.

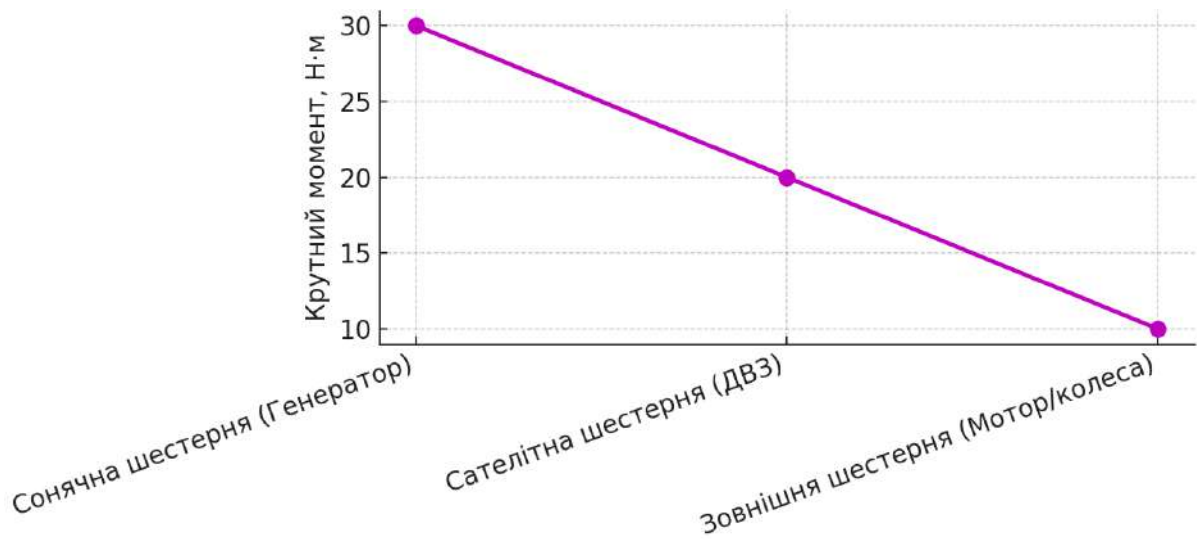


Рисунок 1.32 - Графік залежності крутного моменту під час прискорення.

Під час прискорення в нормальному режимі руху, оберти двигуна внутрішнього згоряння збільшуються, одночасно генератор починає виробляти електрику. Використовується ця електрика та електрика з високовольтної батареї, а двигун внутрішнього згоряння додає свою потужність для збільшення прискорення.

1.9 Система управління гібридною установкою

Система управління THS II підтримує автомобіль на максимальній ефективності завдяки керуванню енергією, яка використовується транспортним засобом, включаючи енергію, що використовується для руху, а також енергію, що витрачається на допоміжні пристрої, такі як кондиціонер, обігрівачі, фари та навігаційна система. Система управління контролює вимоги та робочі стани компонентів гібридної системи, таких як двигун, який є джерелом енергії для всього гібридного автомобіля; генератор, який виступає в якості стартера для двигуна і перетворює механічну енергію в електричну; електричний двигун, який приводить у рух транспортний засіб з використанням електричної енергії від батареї; акумулятор, який зберігає електричну енергію, що генерується двигуном під час гальмування.

Іншими словами, система управління THS II відслідковує різні режими споживання енергії транспортного засобу в реальному часі і забезпечує точний і швидкий контроль над транспортним засобом, щоб транспортний засіб експлуатувався безпечно та комфортно при найвищому ККД.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Система управління

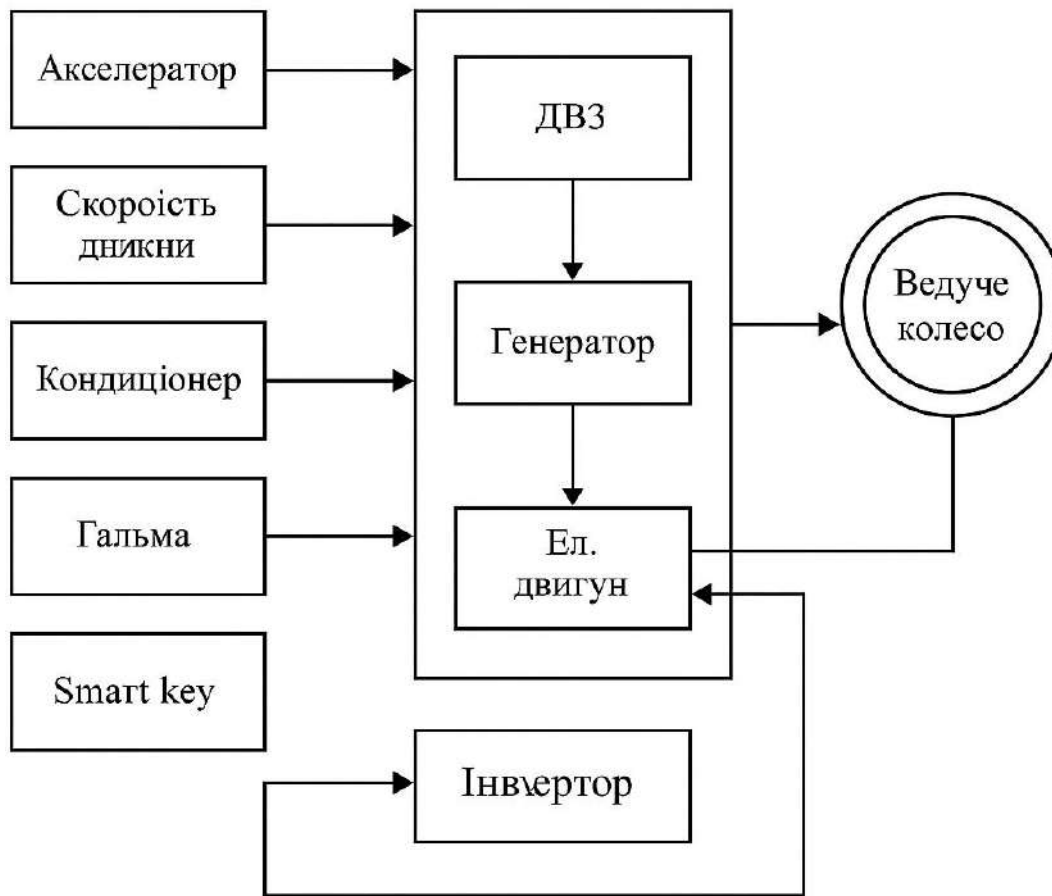


Рисунок 1.33 - Блок-схема системи управління

Розробка системи управління рухом гібридного автомобіля

1.10 Принципова схема

Для цієї гібридної установки була розроблена та створена в MS Office Visio принципова схема.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ

Арк.

35

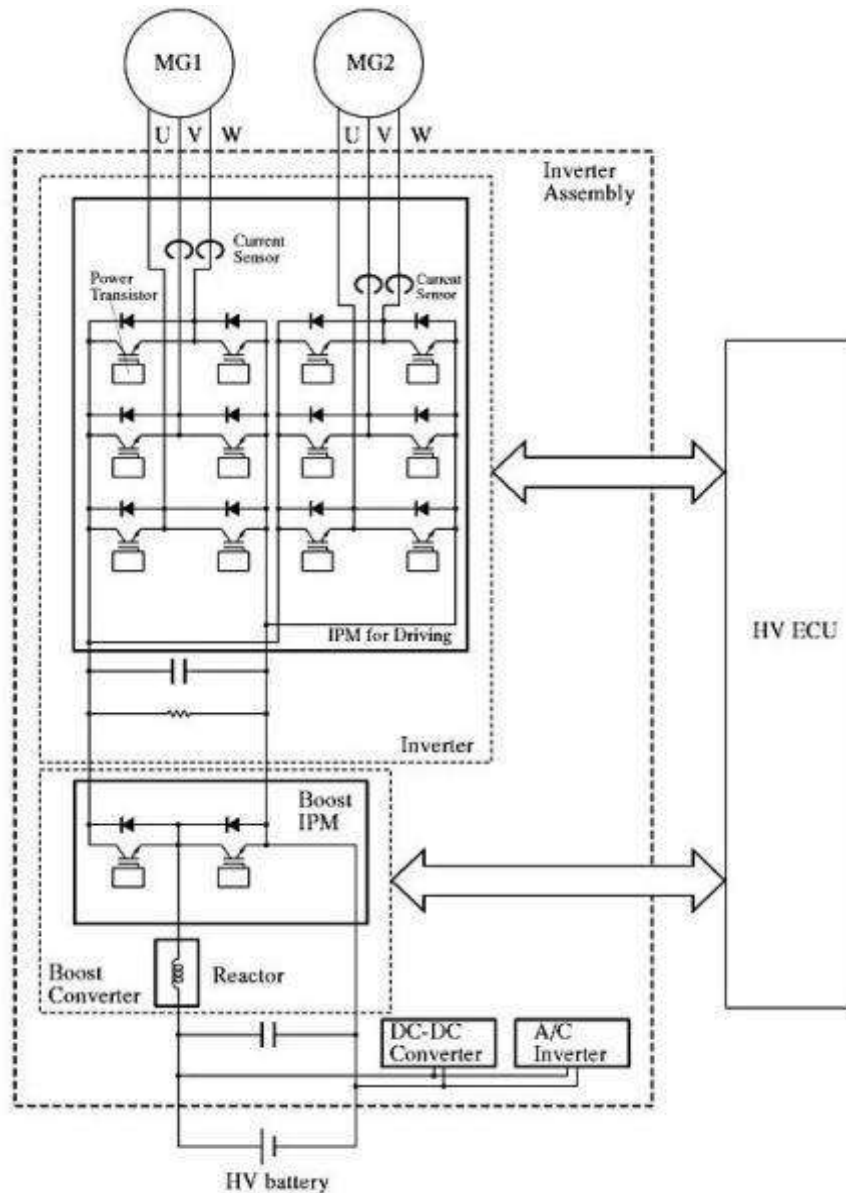


Рисунок 2.1 - Принципова схема системи управління силовою гібридною установкою

На рисунку показано: HV ECU - блок управління; DC-DC конвертер; А/С інвертор; перетворювальний пристрій для електричних двигунів MG1/MG2; високовольтна батарея.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ

Арк.

36

2. РЕЖИМИ РУХУ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ

Робота автомобіля в різних умовах руху

Запуск двигуна

Щоб запустити двигун, MG1 (пов'язаний з сонячною шестернею) обертається вперед, використовуючи електроенергію високовольтної батареї. Якщо автомобіль стоїть, то коронна шестерня планетарного механізму залишається нерухомою. В обертання сонячної шестерні змушує водило сателітів обертатись. Воно пов'язане з двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ) і обертає його зі швидкістю 1/3,6 швидкості обертання MG1. На відміну від звичайного автомобіля, який подає паливо і запалювання в ДВЗ, як тільки стартер починає його обертати, Prius чекає, поки MG1 не розганяє ДВЗ приблизно до 1000 обертів за хвилину. Це відбувається менше ніж за секунду. MG1 значно потужніший за звичайний стартер. Щоб обертати ДВЗ з такою швидкістю, він сам має обертатись на 3600 обертів за хвилину. Запуск ДВЗ на 1000 обертів за хвилину не створює майже жодного навантаження на нього, оскільки це – швидкість, на якій ДВЗ працював би від своєї власної енергії.

При цьому Prius запускається, запалюючи тільки пару циліндрів. Результат – дуже плавний запуск без шуму та ривків, що усуває зношування, пов'язане з запуском двигунів у звичайних автомобілях. Водночас варто звернути увагу на поширену помилку ремонтувальників і власників: часто питають, чому ДВЗ не продовжує працювати, чому він заводиться на кілька секунд і глухне. Насправді, поки мигає рамка READY, ДВЗ НЕ ПРАЦЮЄ! Його обертає MG1! Хоча візуально – повне відчуття запуску ДВЗ: він шумить, з вихлопної труби йде дим.

Як тільки ДВЗ починає працювати від своєї власної енергії, комп'ютер керує відкриттям дроселя для досягнення підходящих холостих обертів під час прогріву. Електрика більше не живить MG1 і, фактично, якщо батарея

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

розряджена, MG1 може виробляти електроенергію і заряджати батарею. Комп'ютер просто налаштовує MG1 як генератор, а ДВЗ відкриває дросель трохи більше (приблизно до 1200 обертів) для вироблення електричної енергії.

Холодний запуск

Коли ви запускаєте Prius з холодним двигуном, головним пріоритетом є прогрівання двигуна і каталізатора, щоб запрацювала система управління токсичністю вихлопу. Двигун працюватиме кілька хвилин, поки це не відбудеться (час залежить від фактичної температури двигуна та каталітичного нейтралізатора). У цей час вживаються спеціальні заходи для управління вихлопом під час прогріву, зокрема утримання вуглеводнів у поглиначу, який буде очищений пізніше, а також робота двигуна в спеціальному режимі.

Теплий запуск

При запуску Prius з теплим двигуном, він працює деякий час і потім зупиняється. Холості оберти становлять близько 1000 об/хв.

На жаль, неможливо запобігти запуску ДВЗ при включенні автомобіля, навіть якщо ви хочете просто переїхати на сусідній підйомник. Це стосується лише кузовів 10 і 11. На кузові 20 застосовується інший алгоритм запуску: потрібно натискати на гальмо і кнопку «START». Якщо в батареї достатньо енергії і ви не включили обігрівач, то ДВЗ не запуститься. Просто загориться надпис "READY" ("Готовий"). Це означає, що автомобіль ПОВНІСТЮ готовий до руху. Достатньо перемістити джойстик (на кузові 20 вибір режимів здійснюється саме джойстиком) в положення D або R і відпустити гальмо – і ви поїдете!

Рух з місця

Prius завжди стартує на прямій передачі. Це означає, що двигун не може в одиночку забезпечити весь крутний момент, щоб автомобіль енергійно рушив з місця. Крутний момент для початкового прискорення

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

додається мотором MG2, який обертає коронну шестерню планетарного механізму, що з'єднана з входом редуктора, а його вихід з'єднаний з колесами. Електричні двигуни розвивають кращий крутний момент при низьких обертах, тому вони ідеально підходять для початку руху автомобіля.

Уявімо, що ДВЗ працює і автомобіль нерухомий, тоді мотор MG1 обертається вперед. Керуюча електроніка починає відбирати енергію з генератора MG1 і передає її на мотор MG2. Тепер, коли ви відбираєте енергію від генератора, ця енергія повинна звідкись взятися. Появляється сила, яка уповільнює обертання вала, і щось повинно протидіяти цій силі, щоб зберегти швидкість. Протидіючи цій "генераторній навантаженні", комп'ютер збільшує оберти ДВЗ для додавання додаткової енергії. Тепер ДВЗ обертає водило сателітів планетарного механізму сильніше, а генератор MG1 намагається уповільнити обертання сонячної шестерні. Результат – сила на коронній шестерні, яка змушує її обертатися, і автомобіль починає рухатись.

Згадайте, що в планетарному механізмі крутний момент ДВЗ розподіляється у співвідношенні 72% до 28% між короною і сонцем. Поки ми не натискаємо на акселератор, ДВЗ лише "бездіє" і не виробляє жодного вихідного крутного моменту. Тепер, однак, оберти зросли і 28% крутного моменту обертають MG1 як генератор. Інші 72% крутного моменту передаються механічно на коронну шестерню і, відповідно, на колеса.

Одночасно з тим, що більша частина крутного моменту надходить від мотора MG2, ДВЗ дійсно передає крутний момент на колеса в такий спосіб.

Принцип роботи гібридної силової установки на прикладі Toyota Prius

Розуміння принципів роботи гібридних автомобілів, зокрема Toyota Prius, вимагає урахування особливостей взаємодії двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), електродвигунів та планетарної передачі. У цій системі ефективно поєднуються механічна та електрична енергія, що забезпечує високу паливну економічність та плавність руху.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час інтенсивного прискорення, коли необхідна підвищена потужність, одночасно працюють ДВЗ та електродвигун MG2 (потужністю 33 кВт). MG2 працює на межі своїх можливостей, забезпечуючи крутий момент, однак із підвищенням швидкості його ефективність поступово знижується. У цей момент ключову роль відіграє планетарна передача, яка координує роботу ДВЗ, генератора MG1 і двигуна MG2 без потреби у класичній коробці передач.

Відсутність традиційної коробки передач є однією з головних переваг гібридної трансмісії, адже вона дозволяє здійснювати плавне, безперервне прискорення без ривків та перемикань, що підвищує комфорт водіння.

Під час руху з помірною швидкістю ДВЗ працює на низьких обертах, ефективно долаючи аеродинамічний опір та силу кочення. У цьому режимі генератор MG1 може використовувати надлишкову потужність двигуна для заряджання тягової батареї, підтримуючи енергетичний баланс між механічною та електричною складовими силової установки.

Окремої уваги заслуговує режим рекуперації енергії (рух накатом). У такому випадку MG2 переходить у режим генератора, сповільнюючи автомобіль шляхом створення електромагнітного опору обертанню коліс. Кінетична енергія перетворюється на електричну та зберігається в акумуляторі, імітуючи гальмування двигуном. Це сприяє не лише підвищенню енергоефективності, а й покращенню керованості під час спусків і уповільнення.

Отже, гібридна система Toyota Prius демонструє ефективну синергію між усіма компонентами силової установки. Такий підхід дозволяє суттєво знизити витрати пального та рівень викидів, забезпечуючи при цьому достатню динаміку й високий рівень комфорту під час руху.

Передача крутного моменту та енергії в гібридній трансмісії Toyota Prius

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Тепер розглянемо, як 28% крутного моменту двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), що передається генератору MG1, може бути використано для посилення старту автомобіля за допомогою електродвигуна MG2. Для цього важливо чітко розрізнити поняття крутного моменту та енергії.

Крутний момент — це оберտальна сила. Як і у випадку з прямолінійною силою, підтримання сили не вимагає постійного витрачання енергії. Припустімо, ви підіймаєте відро з водою за допомогою лебідки. Під час підйому споживається енергія, і якщо лебідка приводиться в дію електромотором, його потрібно живити електроенергією. Проте, коли відро вже підняте, його можна зафіксувати гачком або іншим фіксатором. Вага відра, що тисне на мотузку, і крутний момент, який передається на барабан лебідки, не зникають. Але оскільки не відбувається переміщення, енергія не витрачається — система залишається в стійкому стані без споживання енергії.

Аналогічно, коли автомобіль стоїть нерухомо, 72% крутного моменту ДВЗ передається на колеса, але немає передавання енергії, оскільки коронна шестерня не обертається. У той же час, сонячна шестерня обертається швидко, і хоча на неї припадає лише 28% крутного моменту, цього достатньо для генерації значної кількості електроенергії.

Цей принцип ілюструє, що основне завдання MG2 — прикласти крутний момент до виходу механічного редуктора, не потребуючи великої потужності. Через обмотки двигуна MG2 проходить великий струм, долаючи електричний опір, що призводить до втрат енергії у вигляді тепла. Але на низьких швидкостях ця енергія надходить від MG1. У міру того як автомобіль починає рухатися і набирає швидкість, генератор MG1 обертається повільніше і виробляє менше електроенергії. У такому випадку блок керування може незначно збільшити оберти ДВЗ. Це підвищує крутний момент, що надходить від двигуна, і, відповідно, більший його відсоток проходить через сонячну шестерню. У результаті MG1 може підтримувати

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

високу продуктивність генерації навіть за зниженої частоти обертання — її компенсує збільшення крутного моменту.

До цього моменту ми не згадували про акумулятор, щоб було зрозуміло: він не є обов'язковим для приведення автомобіля в рух. Однак у більшості випадків старт автомобіля здійснюється за рахунок енергії, яку комп'ютер передає від батареї безпосередньо на MG2.

Існують обмеження щодо обертів ДВЗ при малій швидкості автомобіля. Вони пов'язані з необхідністю запобігти надмірному обертанню MG1, що могло б призвести до його пошкодження. Це обмежує обсяг енергії, яку може згенерувати ДВЗ. До того ж, для водія було б некомфортно чути надмірне збільшення обертів ДВЗ під час плавного старту. Чим сильніше натискається педаль акселератора, тим більше зростають оберти ДВЗ, але також збільшується обсяг енергії, яку подає батарея. Якщо натиснути педаль "у підлогу", приблизно 40% енергії надходить від батареї, а 60% — від ДВЗ при швидкості близько 40 км/год. У міру прискорення автомобіля та збільшення обертів двигуна, він забезпечує все більшу частку енергії — досягаючи близько 75% при швидкості 96 км/год (за умови повного натискання на педаль). Як ми пам'ятаємо, енергія ДВЗ також включає частину, що передається MG1 у вигляді електроенергії до MG2. При швидкості 96 км/год MG2 фактично надає більший крутний момент, а отже — і більшу потужність до коліс, ніж безпосередньо від ДВЗ через планетарний механізм. Проте більша частина електроенергії, що споживається MG2, надходить від MG1, тобто — опосередковано — знову ж від ДВЗ, а не з акумулятора.

Прискорення та рух у гору

Коли необхідна підвищена потужність, ДВЗ та MG2 працюють разом, створюючи крутний момент і забезпечуючи прискорення автомобіля аналогічно до старту з місця. Із зростанням швидкості зменшується крутний момент, який MG2 здатен забезпечити, оскільки він працює на межі своєї

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

потужності — 33 кВт. Чим швидше обертається мотор, тим менше крутного моменту він може видати при фіксованій потужності.

На щастя, це відповідає очікуванням водія: у звичайному автомобілі коробка передач перемикається на вищу передачу, і крутний момент, що передається на осі, зменшується, дозволяючи ДВЗ знизити оберти до безпечного рівня. Хоча механізм у Prius принципово інший, відчуття для водія подібні — прискорення відбувається плавно і прогнозовано, без ривків, завдяки відсутності традиційної коробки передач.

Отже, ДВЗ обертає водило сателітів планетарного механізму. 72% його крутного моменту передаються на коронну шестерню та далі — до коліс. 28% — передаються через сонячну шестерню до генератора MG1, де перетворюються на електроенергію. Ця електроенергія живить мотор MG2, який додає додатковий крутний момент через ту ж коронну шестерню. Чим більше водій натискає акселератор, тим більше крутного моменту створює ДВЗ. Це збільшує як механічну складову моменту, що надходить безпосередньо на колеса, так і кількість енергії, що виробляється MG1 та подається на MG2.

Залежно від умов — заряду батареї, ухилу дороги та інтенсивності натискання педалі — комп'ютер може додатково спрямувати енергію з акумулятора до MG2, щоб посилити його внесок у прискорення. Саме так досягається динаміка, достатня для руху великим автомобілем з ДВЗ потужністю лише 78 к. с.

З іншого боку, якщо вимоги до потужності невеликі, частина електроенергії, виробленої MG1, може бути спрямована на заряджання акумулятора навіть під час прискорення.

Важливо пам'ятати: ДВЗ як обертає колеса через планетарний механізм, так і обертає генератор MG1. Подальша доля електроенергії — її передавання до MG2 або до батареї — визначається багатьма параметрами, які аналізує електронний контролер гібридної системи.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Рух на помірній швидкості

Після досягнення стабільної швидкості на рівній дорозі потужність, яку повинен виробляти двигун, витрачається переважно на подолання аеродинамічного опору та опору коченню. Це значно менше, ніж потужність, необхідна для підйому або прискорення. Для ефективної роботи в умовах невеликої потреби в потужності (а також з метою зменшення шуму) двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) працює на низьких обертах.

У таблиці нижче наведено розподіл потужності, необхідної для руху автомобіля з різною швидкістю по горизонтальній поверхні, а також орієнтовні оберти ДВЗ та генератора MG1:

Таблиця 2.1 – Розподіл потужності на різних швидкостях

ШВИДКІСТЬ АВТОМОБІЛЯ, КМ/ГОД	НЕОБХІДНА ПОТУЖНІСТЬ, КВТ	ОБОРОТИ ДВЗ, ОБ/ХВ	ОБОРОТИ MG1, ОБ/ХВ
64	3,6	1300	-1470
80	5,9	1500	-2300
96	9,2	2250	-3600

Зі зростанням швидкості, але збереженням низьких обертів ДВЗ, система розподілу потужності потрапляє в особливий режим. У цьому випадку генератор MG1 обертається у зворотному напрямку, що змушує сателіти обертатися вперед. Рух сателітів, у поєднанні з обертанням водила (з'єданого з ДВЗ), викликає значно швидше обертання коронної шестерні, а отже — коліс.

У попередньому випадку ми прагнули отримати високу потужність завдяки високим обертам ДВЗ, навіть при невисокій швидкості руху. Тепер же ситуація інша: ми намагаємось утримати ДВЗ на низьких обертах навіть при значному розгоні, щоб зменшити витрати пального і підвищити загальну ефективність.

Як відомо з аналізу планетарного механізму розподілу потужності, MG1 має створювати зворотний крутний момент на сонячній шестерні. Це своєрідна опора важеля, за допомогою якого ДВЗ передає крутний момент на коронну шестерню, а отже — на колеса. Без цього зворотного моменту ДВЗ просто обертав би MG1, не рухаючи автомобіль.

Коли MG1 обертається вперед, зворотний момент може бути легко створений за рахунок генераторного режиму — інвертор «знімає» електроенергію з MG1, що і забезпечує необхідний опір. Але якщо MG1 обертається назад, як тоді створити потрібний крутний момент?

Принцип простий: щоб MG1 створював крутний момент у потрібному напрямку, він має працювати як мотор — тобто споживати електроенергію від інвертора, але при цьому обертатися назад.

Рух накатом

Коли водій знімає ногу з педалі акселератора, автомобіль переходить у режим руху накатом. У цьому режимі ДВЗ не намагається штовхати автомобіль уперед. Машина поступово сповільнюється під впливом опору коченню та аеродинамічного опору.

В автомобілях із традиційною трансмісією ДВЗ продовжує бути механічно з'єднаним з колесами. У такому разі він прокручується без подачі пального, створюючи гальмівну дію — так зване "гальмування двигуном". Хоча в Toyota Prius немає потреби у прямому з'єднанні двигуна з колесами, виробник реалізував імітацію цього ефекту для збереження звичних відчуттів під час керування.

Під час руху накатом автомобіль сповільнюється швидше, ніж тільки під дією зовнішніх опорів. Щоб створити додаткову силу гальмування, електродвигун MG2 починає працювати в режимі генератора, заряджаючи акумулятор. Генераторне навантаження створює відчуття, подібне до гальмування двигуном.

Поведінка MG1 при накаті

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Оскільки для руху автомобіля в цьому режимі ДВЗ не потрібен, він може бути повністю зупинений. Водночас водило сателітів зупинене, а коронна шестерня (з'єднана з колесами і MG2) продовжує обертатися. У такій ситуації сателіти обертаються вперед, а MG1 — назад.

У цьому режимі MG1 не генерує і не споживає енергії — він просто вільно обертається. Однак відомо, що MG1 обертається у 2,6 раза швидше у зворотному напрямку, ніж MG2 та колеса — у прямому. Такий стан є небезпечним при швидкостях понад 67 км/год, оскільки оберти MG1 можуть перевищити 6500 об/хв.

Щоб уникнути цього, електроніка активує MG1 у генераторному режимі. Це створює генераторне навантаження, яке обмежує швидкість обертання MG1 і змушує водило (а отже й ДВЗ) обертатися вперед. Якщо водило і ДВЗ обертаються хоча б на 1000 об/хв, MG1 залишається у безпечному режимі до швидкості 104 км/год. На ще вищих швидкостях ДВЗ повинен обертатися швидше. У такому режимі електроенергія, яку виробляє MG1, використовується для заряджання тягової батареї.

Гальмування

Коли вам потрібно зменшити швидкість автомобіля швидше, ніж при вільному котінні (русі накатом) під дією опору кочення, аеродинамічного опору та гальмування двигуном, ви натискаєте на педаль гальма. У звичайному автомобілі це зусилля передається через гідравлічну систему на фрикційні гальма коліс: гальмівні колодки притискаються до дисків або барабанів, і кінетична енергія автомобіля перетворюється на тепло, внаслідок чого автомобіль сповільнюється.

У Toyota Prius використовується така ж гальмівна система, однак вона доповнена функцією регенеративного гальмування. Оскільки ДВЗ зазвичай вимкнений під час гальмування, у режимі "В" електроніка організовує роботу так, що ДВЗ обертається без подачі пального з майже повністю закритою дросельною заслінкою. Створюване ним опір сповільнює автомобіль,

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

зменшуючи навантаження на гальмівну систему, і дає змогу водієві менше натискати на педаль гальма.

Режим електромобіля та старт на електротязі

У звичайному автомобілі з автоматичною коробкою передач, якщо відпустити педаль гальма, автомобіль починає повільно рухатись — ефект, що виникає через роботу гідротрансформатора. Це явище зручне, бо перешкоджає скочуванню назад на підйомах під час переміщення ноги з гальма на акселератор. У Prius такого технічного обмеження немає, однак Toyota реалізувала імітацію "повзання", щоб зберегти звичні відчуття керування. Коли ви відпускаєте гальмо, невелика кількість енергії з акумулятора передається на MG2, який плавно починає рух автомобіля вперед.

Якщо трохи натиснути на акселератор, подача енергії до MG2 зростає, і автомобіль розганяється жвавіше. Оскільки MG2 має високу потужність і значний крутний момент, старт може відбутися повністю на електротязі, без запуску ДВЗ, за умови, що рух починається плавно. Що сильніше натискається педаль акселератора — тим швидше запускається ДВЗ, щоб забезпечити додатковий крутний момент і підзарядити акумулятор через генератор MG1.

У разі натискання педалі до упору, ДВЗ запускається миттєво. Проте навіть тоді автомобіль почне рух до того, як двигун почне сприяти прискоренню. У більшості випадків у міському режимі старт здійснюється практично безшумно, лише за рахунок MG2, а ДВЗ залишається вимкненим.

Повільний рух і режим електромобіля (EV Mode)

Як описано вище, якщо педаль акселератора натиснута незначно, автомобіль може рухатись винятково завдяки електродвигуну MG2. У разі досягнення необхідної швидкості до запуску ДВЗ, можливо продовжити рух лише на електроенергії. Це називається "режим електромобіля" (EV Mode) — автомобіль працює так само, як повноцінний електромобіль.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

MG2 обертає коронну шестерню планетарного механізму, приводячи в дію колеса, тоді як водило сателітів і ДВЗ залишаються зупиненими, а MG1 (з'єднаний із сонячною шестернею) обертається у зворотному напрямку вільно.

Якщо під час прискорення ДВЗ було запущено, але потім водій зменшив тиск на педаль акселератора, і потреба в енергії стала мінімальною — ДВЗ вимикається, і автомобіль знову переходить у EV Mode. Коли саме це трапиться — залежить від рівня заряду акумулятора, дорожніх умов і багатьох інших чинників.

Запуск ДВЗ із EV Mode відбувається подібно до теплового старту, але при цьому коронна і сонячна шестерні не зупинені — сонячна шестерня обертається назад і має сповільнитись, перш ніж перейти до обертання вперед. Для цього MG1 спочатку працює як генератор, зменшуючи швидкість до нуля, а потім перемикається в режим мотора, щоб обертатися вперед і запустити ДВЗ. MG2 у цей момент отримує додатковий імпульс енергії, щоб компенсувати опір від запуску ДВЗ, і водій не відчув ривка.

Уповільнення та рух на спуску

Коли ви м'яко знижуєте швидкість або спускаєтесь з гори, автомобіль потребує менше енергії, оскільки йому допомагає інерція або гравітація. У таких випадках водій трохи послаблює натискання на педаль акселератора, і потужність ДВЗ зменшується або він повністю вимикається, якщо MG2 здатен покривати енергетичні потреби.

При повільному русі MG2 може забезпечувати всю енергію навіть на горизонтальній дорозі. Проте на швидкостях понад 64 км/год режим електромобіля малоімовірний, оскільки для подолання аеродинамічного опору вже потрібно більше потужності, ніж може забезпечити один MG2. Та EV Mode все ж можливий за певних умов — наприклад, під час уповільнення або швидкого спуску.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Щоб працювати в EV Mode на швидкостях 67 км/год і вище, система повинна захищати MG1 від надмірного обертання — так само, як і під час руху накатом. Різниця в тому, що коронна шестерня обертається не через рух автомобіля, а завдяки роботі MG2.

Рух заднім ходом

Гібридна трансмісія не має окремих шестерень для заднього ходу — отже, Prius рухається назад винятково за допомогою MG2. ДВЗ не може брати участь у русі заднім ходом.

Зазвичай, коли вибирається режим "R", ДВЗ зупиняється. MG2 починає обертатись у зворотному напрямку, що змушує коронну шестерню також обертатись назад. Водило сателітів (а отже, і ДВЗ) залишається нерухомим. У такому режимі MG1 обертається вперед, вільно, не виробляючи і не споживаючи електроенергії — це дзеркальне відображення EV Mode.

Система не дозволить автомобілю їхати назад занадто швидко, щоб уникнути надмірного обертання MG1. Якщо ж у режимі "R" ДВЗ залишається активним (наприклад, через низький заряд акумулятора), рух все одно забезпечується MG2, але при цьому водило сателітів обертається вперед, а MG1 та сонячна шестерня — з більшою швидкістю. Щоб уникнути перевантаження MG1, комп'ютер обмежує максимальну швидкість заднього ходу.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

3. АЛГОРИТМ РЕЖИМІВ РУХУ

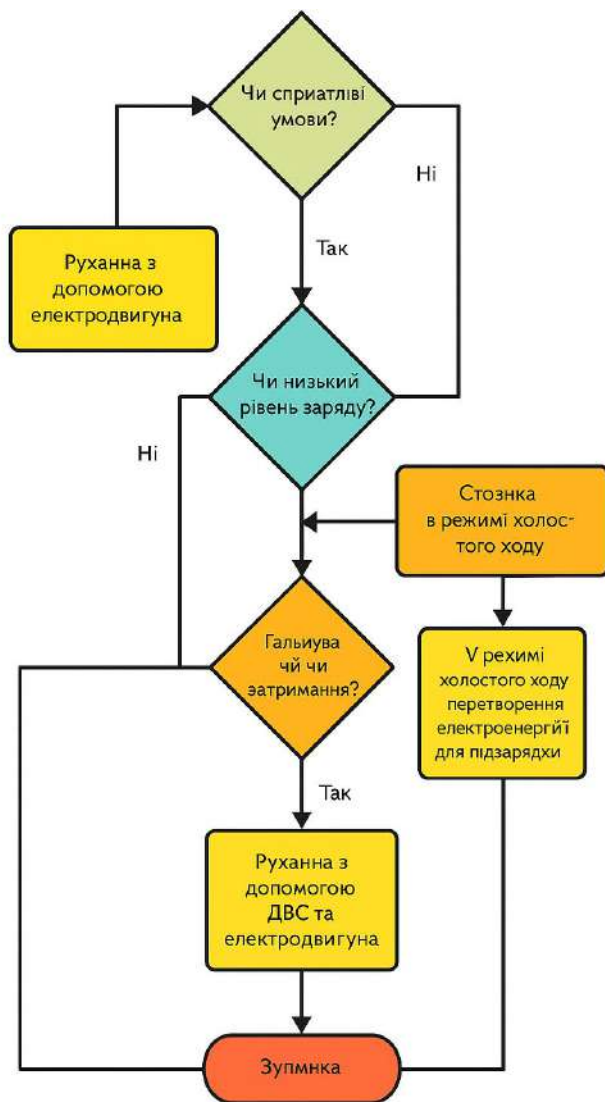


Рисунок 3.1 — Алгоритм режимів руху

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ

Арк.

50

4. МОДЕЛЮВАННЯ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ В СЕРЕДОВИЩІ SIMULINK

Для моделювання послідовно-паралельної гібридної схеми було використано програмне середовище SIMULINK пакету MATLAB.

Складові моделі гібридної силової установки:

двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ);

електричний тяговий двигун MG2;

планетарна передача;

контролер;

генератор MG1;

високовольтна акумуляторна батарея;

DC-DC перетворювач;

динаміка руху автомобіля.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

4.1. Двигун внутрішнього згоряння

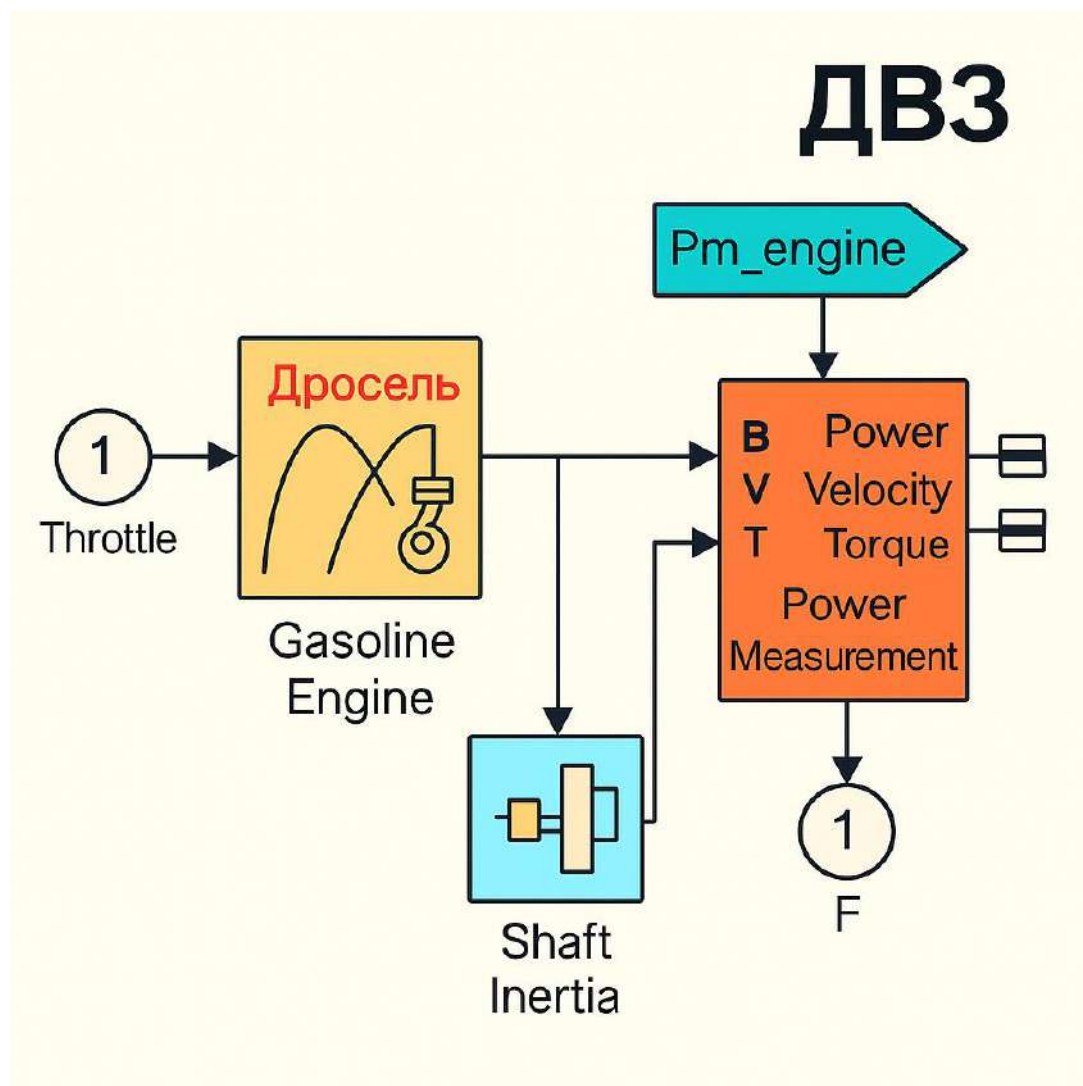


Рисунок 4.1 — Модель двигуна внутрішнього згоряння

Для моделі обрано чотирициліндровий бензиновий двигун робочим об'ємом 1,5 л і потужністю 76 к.с., що працює за циклом Аткинсона.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

4.2. Електродвигун MG2

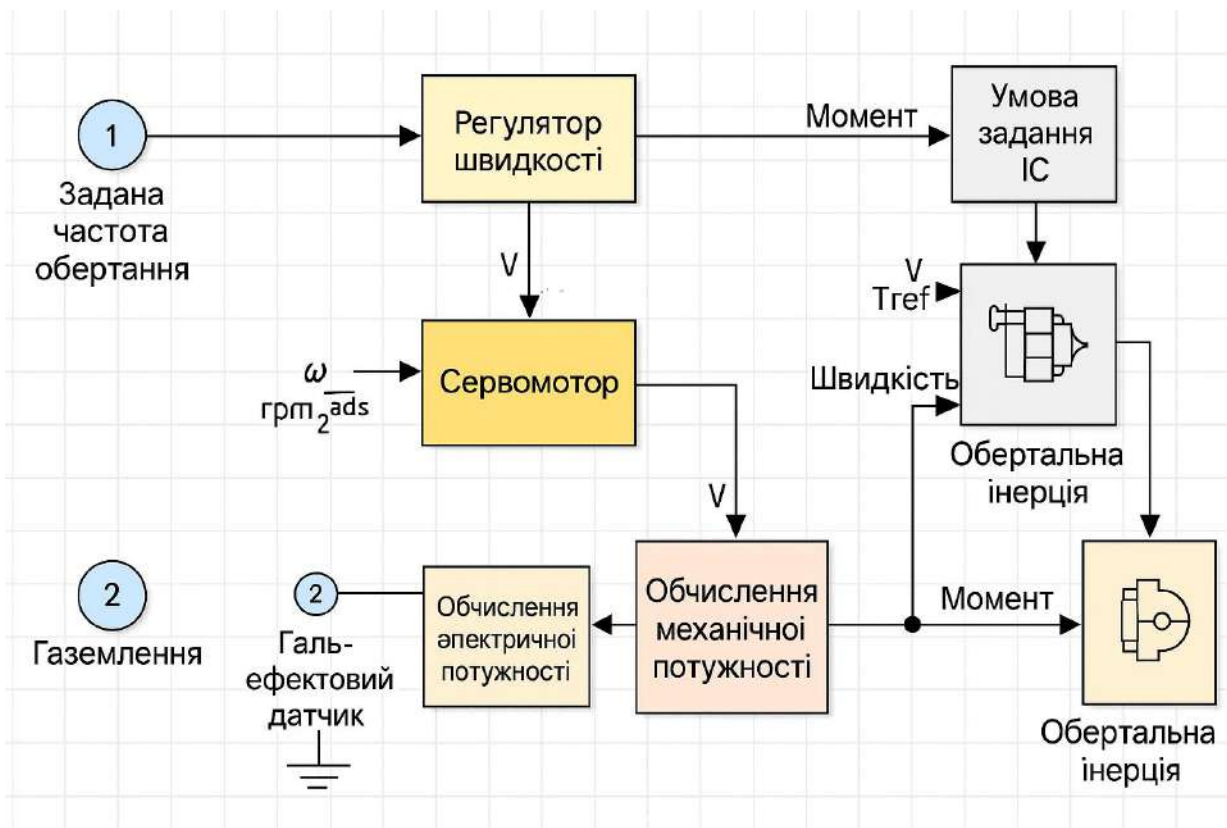


Рисунок 4.2 — Модель електродвигуна MG2

MG2 — це трифазний електродвигун змінного струму потужністю 50 кВт, який виконує функцію основного тягового приводу у гібридній установці.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ

Арк.

53

4.3. Планетарна передача

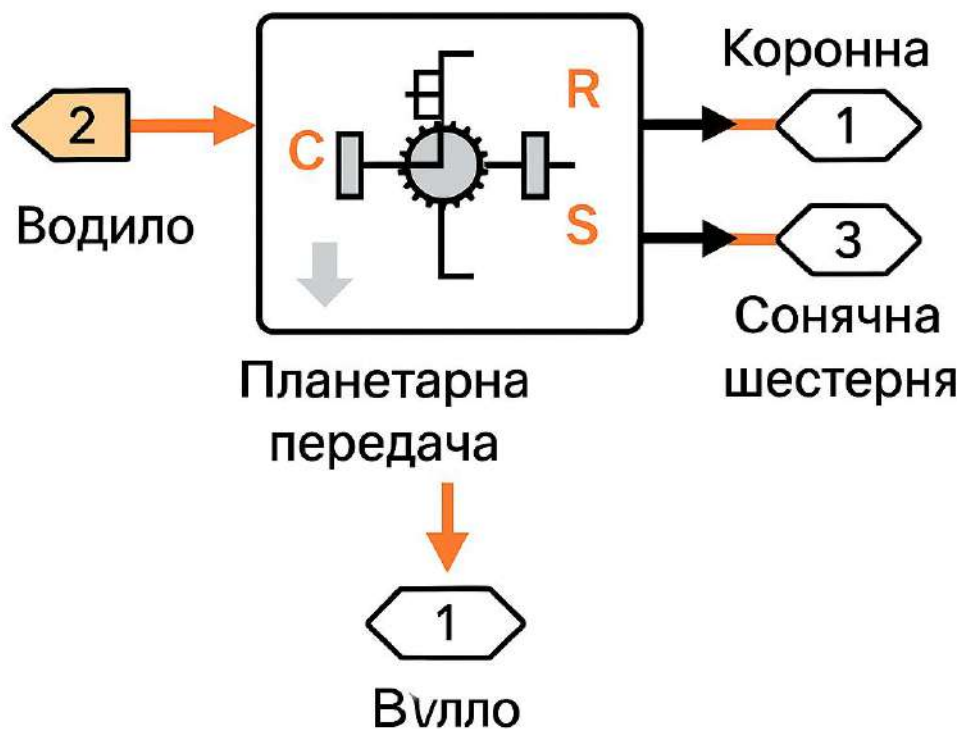


Рисунок 4.3 — Модель планетарної передачі

Як трансмісія використовується пристрій розподілу потужності (Power Split Device, PSD), основним елементом якого є планетарний механізм. Його конструкція включає:

- сонячну шестерню — центральну;
- сателітні шестерні, що обертаються навколо сонячної;
- води́ло сателітів, яке також здійснює обертальний рух і є передаточним елементом від ДВЗ.

Цей механізм забезпечує розділення та суміщення потоків потужності від ДВЗ, MG1 та MG2.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

4.6. Високовольтна батарея

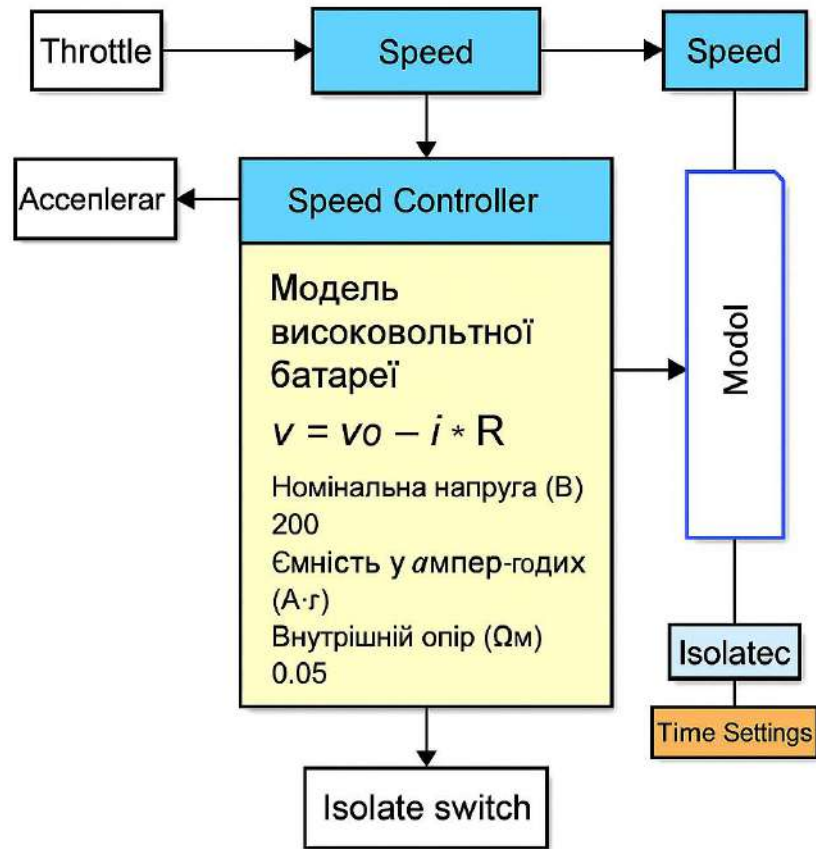


Рисунок 4.6 — Модель високовольтної батареї

Акумуляторна батарея має наступні характеристики:

ємність — 200 А·год;

напруга — 200 В;

максимальний струм — 80 А.

Для роботи інвертора та електродвигунів напруга батареї підвищується до 500 В за допомогою DC-DC перетворювача (boost-конвертера).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ

Арк.

57

4.7. DC-DC перетворювач

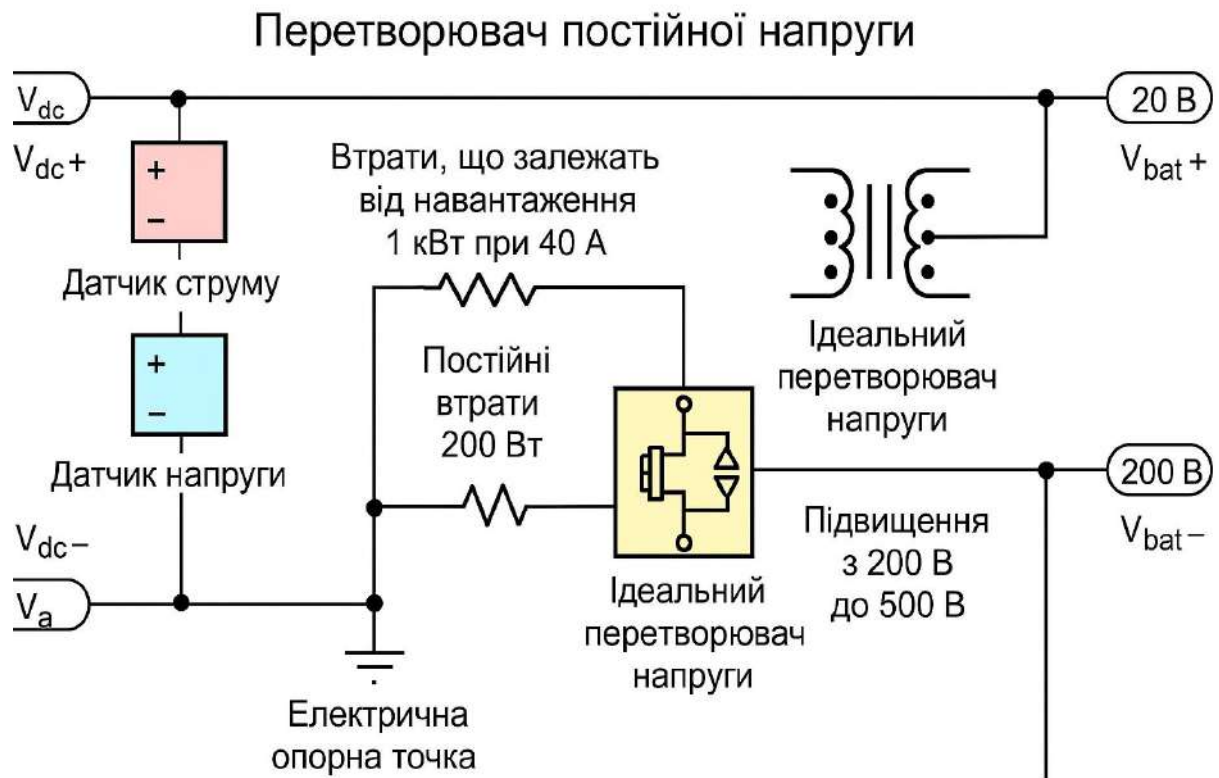


Рисунок 4.7 — Модель DC-DC конвертера

Як перетворювач обрано DC-DC конвертер, який знижує напругу з 200 В до 12 В, забезпечуючи живлення низьковольтних споживачів автомобіля (освітлення, електроніка, контролери тощо).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ

Арк.

58

4.9. Візуалізація розподілу потужності за допомогою Scores

Для наочної демонстрації розподілу потужності в моделі використано вбудований інструмент Scores, який дозволяє виводити графіки змінних параметрів у реальному часі.

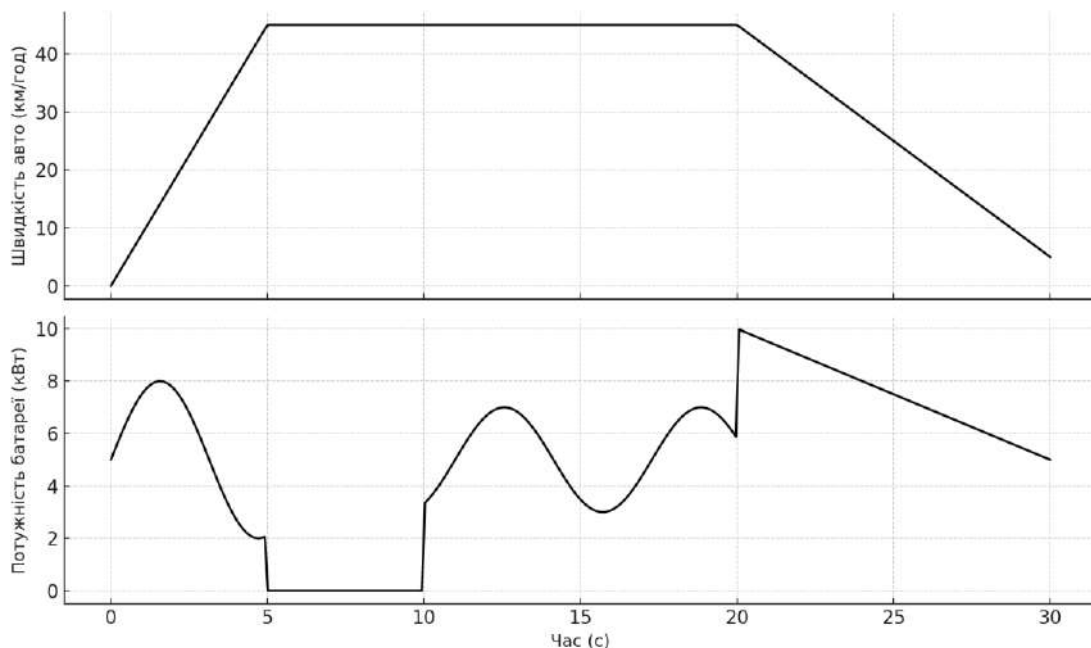


Рисунок 4.9 — Графіки, отримані за допомогою Scores

На першому графіку відображається швидкість автомобіля в км/год.

На другому графіку — крива потужності, яку віддає високовольтна батарея.

Результати моделювання демонструють залежність енергоспоживання та віддачі енергії від режиму руху (прискорення, крейсерський режим, уповільнення).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ

Арк.

60

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

Запропонована система керування рухом гібридного автомобіля значно зменшує викиди вуглекислого газу (CO₂) та сприяє раціональному використанню запасу енергії.

Хоча сучасні гібридні транспортні засоби вже оснащені системами керування, у більшості з них все ще спостерігаються втрати корисної енергії. Розроблена система дозволяє:

- максимально ефективно використовувати електроенергію під час руху;
- здійснювати рекуперацію енергії під час гальмування;
- зменшити навантаження на ДВЗ;
- підвищити загальну економічність транспортного засобу.

Таким чином, реалізація цієї системи є доцільною як з технічної, так і з економічної точки зору, особливо в умовах зростаючих вимог до енергоефективності та екологічності транспортних засобів.

5.1. Аналіз співвідношення витрат і прибутку

Підприємцеві в процесі діяльності постійно доводиться приймати рішення щодо цін на продукцію, рівня змінних і постійних витрат, а також ефективного використання наявних ресурсів. Для цього необхідно достовірно й точно організувати облік витрат та прибутку.

У ринкових умовах усі управлінські моделі базуються на аналізі взаємозв'язку витрат, обсягів виробництва та прибутку. Такий аналіз дозволяє оцінити вплив зміни ціни, обсягів реалізації, змінних і постійних витрат на кінцеву фінансову результативність підприємства.

Методи досягнення оптимального співвідношення:

- зменшення ціни продажу із відповідним збільшенням обсягу реалізації;
- збільшення постійних витрат із метою розширення виробництва;
- пропорційна зміна змінних і постійних витрат та обсягу виробництва.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Один із методів аналізу — CVP-аналіз (Cost-Volume-Profit), або аналіз беззбитковості. Точка беззбитковості (або "мертва точка") — це такий обсяг виробництва, при якому загальні витрати дорівнюють доходу, тобто відсутній прибуток або збиток.

Метод рівняння

Базове рівняння:

Виручка – змінні витрати – постійні витрати = Прибуток

Якщо виручка дорівнює добутку ціни продажу одиниці продукції на кількість реалізованих одиниць, отримаємо:

$$Q_{кр} = FC / (P - VC)$$

де:

$Q_{кр}$ — критичний обсяг виробництва (одиниць),

P — ціна одиниці продукції,

VC — змінні витрати на одиницю,

FC — постійні витрати.

Метод маржинального прибутку

Маржинальний прибуток — це різниця між виручкою та змінними витратами, тобто сума, яка йде на покриття постійних витрат і формування прибутку. Відносний маржинальний прибуток:

$$d = VC / P$$

$(1 - d)$ = відносний маржинальний прибуток

5.2. Розрахунок витрат на етапі проектування

Під проектуванням розуміють комплекс робіт, необхідних для створення системи керування рухом гібридного автомобіля.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Таблиця 5.1 Тривалість робіт

№	НАЙМЕНУВАННЯ РОБІТ	TMIN (ГОД)	TMAX (ГОД)	T0 (ГОД)
1	Розробка ТЗ	2	3	2,5
2	Аналіз ТЗ	2	4	3
3	Розробка алгоритму роботи	4	7	5,5
4	Розробка схем	8	9	8,5
5	Розробка програмного продукту	5	8	6,5
6	Налагодження програми	2	4	3
7	Розробка конструкції	3	4	3,4
8	Випробування	4	6	4,8
9	Коригування	3	5	3,8
10	Розробка супровідної документації	4	6	4,8
11	Оцінка безпеки та екологічності проекту	3	5	3,8
12	Техніко-економічне обґрунтування проекту	4	6	4,8
13	Оформлення пояснювальної записки	6	8	6,5
	Разом	70	75	74

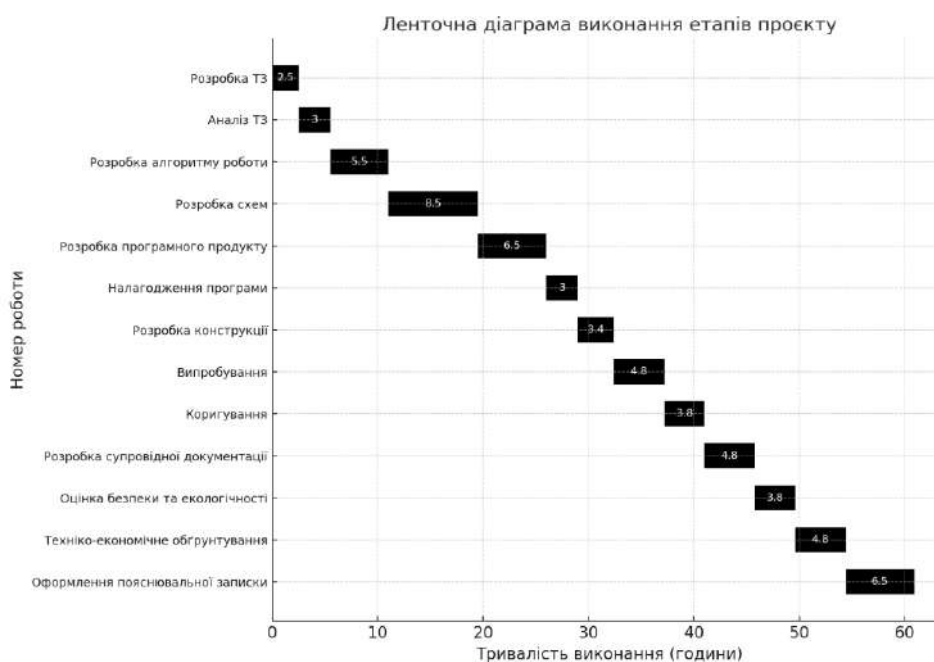


Рисунок 5.1 — Ленточний графік виконання робіт (можна побудувати за T0)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ

Арк.

63

Вартісні розрахунки

1) Основна заробітна плата

Загальна сума основної зарплати на етапі проектування: 5952 грн

2) Додаткова заробітна плата (15,2%)

Здоп = $0,152 \times 5952$ грн

3) Вартість обладнання та матеріалів

(оцінюється додатково, залежно від реальних потреб)

4) Податки та нарахування на зарплату (22%)

$(5952 + 892,8)$ грн $\times 0,22 = 1502$ грн

5) Накладні витрати (20% від основної ЗП)

5952 грн $\times 0,2 = 1190,4$ грн

Таблиця 5.2 — Підсумкова вартість проектування в гривнях

СТАТТЯ ВИТРАТ	СУМА (ГРН)
Основна зарплата	≈ 2500 грн
Додаткова зарплата	≈ 375 грн
Податки і відрахування	≈ 631 грн
Накладні витрати	≈ 500 грн
Разом	≈ 4006 грн

5.3 Розрахунок вартості проектування системи

Відрахування на соціальні потреби

Відрахування на соціальні потреби становлять 30% від суми основної та додаткової заробітної плати:

Зсоц. = $0,30 \times 5952$ грн = 1785,6 грн

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Таблиця 5.3 — Розрахунок основної заробітної плати на проектування нового пристрою

НАЙМЕНУВАННЯ РОБОТИ	ПОСАДА	ЧАС (ГОД)	СТАВКА (ГРН/ГОД)	СУМА (ГРН)
Розробка технічного завдання	Провідний інженер	18	27	486
Аналіз ТЗ	Старший інженер	21	21	441
Розробка структури пристрою	Інженер	46	16	736
Розробка схем	Інженер	55	16	880
Розробка монтажних схем	Інженер	42	16	672
Розробка технічної документації	Інженер	37	16	592
Розробка конструкторської документації	Інженер	34	16	544
Узгодження з замовником	Інженер	31	16	496
Коригування	Інженер	36	16	576
Розробка електронної документації	Інженер	23	23	529
Разом				5952

Накладні витрати

Норматив на накладні витрати — 108% від основної заробітної плати:

Інакл. = $1,08 \times 5952 = 6428,2$ грн

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Таблиця 5.4 — Калькуляція витрат на проектування

СТАТТЯ ВИТРАТ	СУМА (ГРН)
Основна заробітна плата (ОЗП)	5952,0
Додаткова заробітна плата (15,2%)	892,8
Відрахування на соціальні потреби (30%)	1785,6
Накладні витрати (108%)	6428,2
Разом витрати на проектування	15058,6

5.4 Розрахунок вартості матеріалів і комплектуючих

Таблиця 5.5 — Матеріали та комплектуючі

НАЙМЕНУВАННЯ СТАТТІ КАЛЬКУЛЯЦІЇ	СУМА (ГРН)
Сировина та матеріали	100
Коаксіальний кабель	50
Комплектуючі (діоди, плата, резистори тощо)	232
Мікросхема UC3845	50
Мікроконтролер Atmega8	80
Трансформатор	300
Стабілізатор напруги	30
Електролітичні конденсатори (8×100 руб)	800
Разом	1642

5.5 Розрахунок собівартості та ринкової ціни

Таблиця 5.5 — Калькуляція собівартості

СТАТТЯ ВИТРАТ	СУМА (ТИС. ГРН)
Матеріали та обладнання	22000
Основна заробітна плата	19000
Додаткова зарплата (15,4%)	2926
Соціальне страхування (30%)	6460
Накладні витрати (55,86% від ОЗП)	10614
Собівартість	61000
Прибуток (10%)	1900
Ціна без ПДВ	62900
ПДВ (18%)	11322
Загальна вартість з ПДВ	74222

Розрахунок ПДВ з урахуванням покупних виробів

СТАТТЯ	СУМА (ГРН)
ПДВ до сплати	11322
ПДВ за придбаними матеріалами	3960
ПДВ до сплати з урахуванням вирахування	7362

Таблиця 5.6 — Ринкова ціна системи

СТАТТЯ ВИТРАТ	СУМА (ГРН)
Повна собівартість	61000
Прибуток	1900
Ціна без ПДВ	62900
ПДВ із урахуванням покупних виробів	7362
Ринкова ціна з ПДВ	70262

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ

Арк.

67

5.6 Графічний метод CVP-аналізу

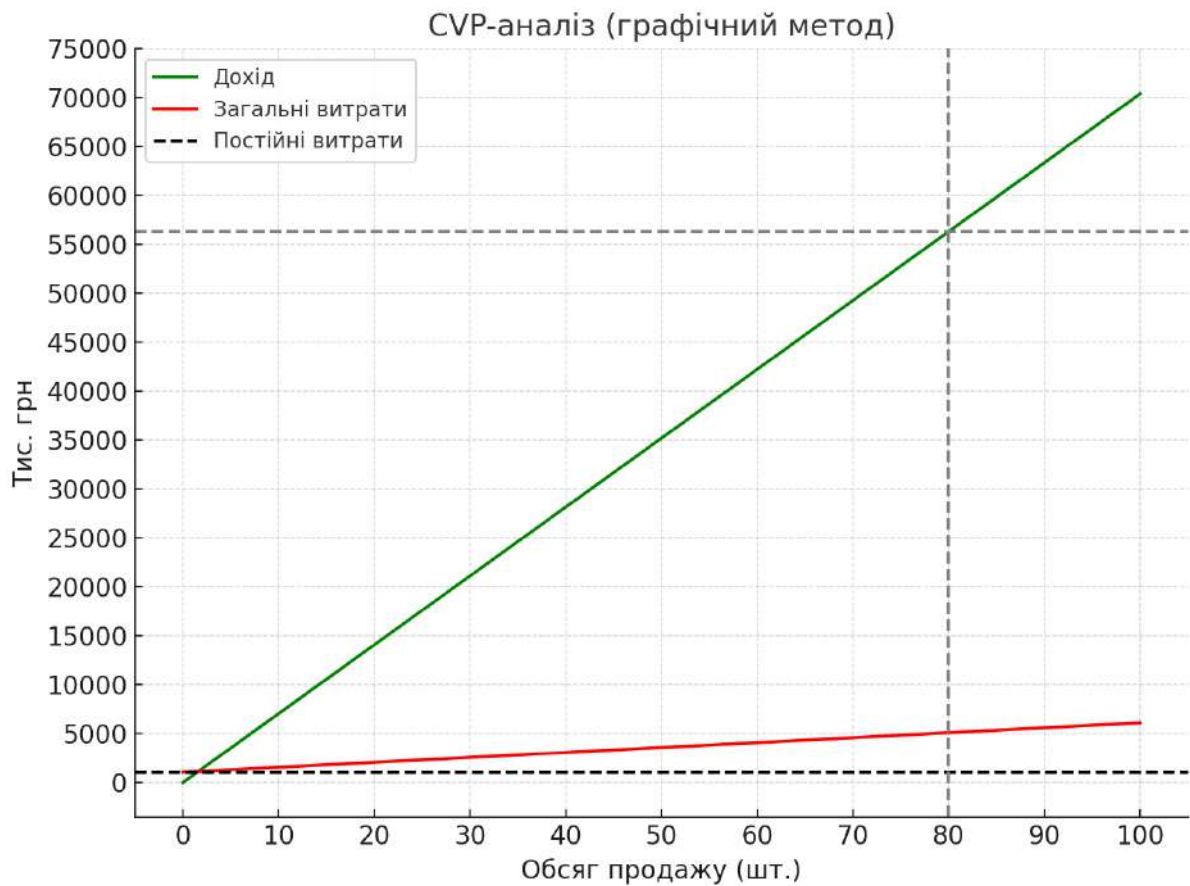


Рисунок 5.2 — Графічний метод CVP-аналізу

На графіку в прямокутній системі координат будується залежність доходів і витрат від кількості вироблених одиниць продукції.

Вісь Y (ординат) — витрати і виручка (грн),

Вісь X (абсцис) — кількість продукції (шт).

Побудова графіка:

Лінія змінних витрат:

При 100 одиницях: $610 \times 100 = 61\ 000$ грн

Лінія доходу:

$702,62$ грн/од. $\times 100 = 70\ 262$ грн

Критична точка (точка беззбитковості):

Визначається як точка перетину кривої витрат і доходів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ

Арк.

68

Відповідає обсягу виробництва 80 шт., що відповідає $\approx 24\ 000$ грн виручки.

Висновки з CVP-аналізу:

При реалізації більше ніж 80 одиниць, підприємство виходить на прибутковий рівень.

Зі зростанням постійних витрат — критична точка зсувається вправо.

Зі зростанням ціни — критична точка зменшується.

Збільшення перемінних витрат потребує збільшення обсягу виробництва.

Аналіз допомагає визначити економічну доцільність запуску продукту та спрогнозувати прибуток.

					<i>КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

6. БЕЗПЕКА ТА ЕКОЛОГІЧНІСТЬ ПРОЄКТУ

6.1 Системний аналіз надійності та безпеки системи

Для забезпечення надійної та безпечної роботи розроблюваного блоку керування гібридним автомобілем необхідно здійснити всебічний аналіз можливих аварійних ситуацій та причин, що їх викликають, а також розробити заходи щодо їх попередження.

Відмови пристрою мають стохастичний характер, тобто можуть проявлятися або не проявлятися. Тому адекватною оцінкою ризику є ймовірність настання небажаної події, що визначається статистично.

Приклад потенційної відмови:

У разі виходу з ладу блоку керування (БК) в системі обробки сигналів — мікропроцесор не отримає необхідної інформації, що призведе до помилки функціонування або повторення експерименту/циклу обробки.

Найбільш критичними з точки зору працездатності системи є:

відсутність або спотворення інформації;

пошкодження електронних схем;

вплив зовнішніх чинників.

Головна подія для аналізу:

"Блок керування гібридним автомобілем не працює"

Причини можуть бути такі:

відсутність живлення;

пошкодження друкованої плати;

збій у роботі мікроконтролера.

1) Відсутність напруги живлення

Причини:

Перегорілий запобіжник → потребує заміни після усунення короткого замикання чи несправного стабілізатора.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обірвані проводи → можуть бути викликані окисленням, перегрівом або механічними ушкодженнями. Необхідно відновити цілісність за допомогою пайки та ізоляції.

Пошкоджена плата → при нормальній проводці проблема може бути в пошкодженні компонентів, спричиненому механічним впливом, старінням або порушенням температурного режиму.

2) Пошкодження плати керування

Причини:

Механічні дії (удар, вібрації);

Перегрів через відсутність охолодження або зношені елементи.

3) Сбой мікроконтролера

Причини:

Замикання виводів (ніжок) — при подачі сигналів на входи чи підключенні живлення;

Механічне пошкодження мікроконтролера;

Перенапруга — при підключенні програматора або неправильному з'єднанні з бортовою мережею.

Для захисту мікроконтролера рекомендовано розташовувати його в зоні, захищеній від механічного навантаження, та відключати пристрій від живлення під час перепрограмування.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

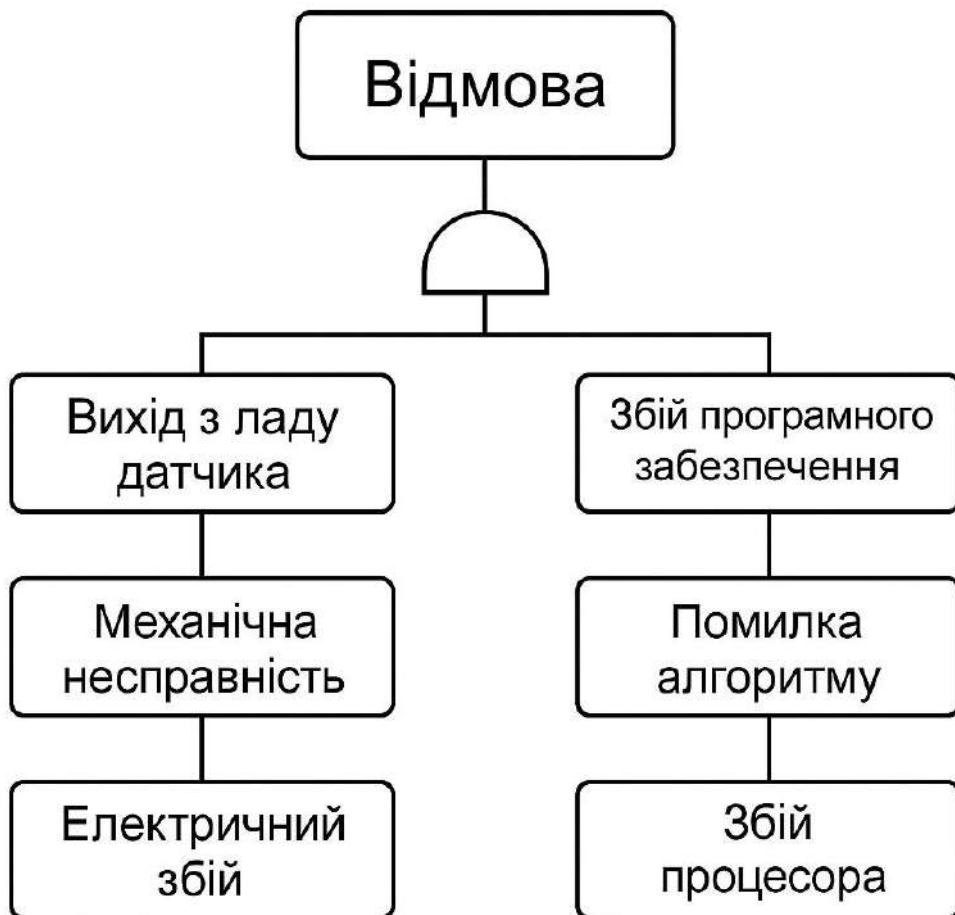


Рисунок 561 — Дерево причин відмов

6.2 Заходи підвищення надійності та безпеки

Технічні заходи:

Охолодження та теплостійкі компоненти:

застосування теплоотводів та вентиляції;

вибір елементної бази з розширеним температурним діапазоном.

Захист електроживлення:

використання стабілізаторів напруги та мережевих фільтрів;

застосування плавких або самовідновлюваних запобіжників.

Захист кабелів живлення:

прокладання в захищених місцях (наприклад, в порогах автомобіля) з мінімальним ризиком механічного впливу;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ

Арк.

72

регулярний огляд і діагностика проводки.

Організаційні заходи:

Роботи виконують особи з технічною освітою, які пройшли:

медогляд,

інструктаж з техніки безпеки,

мають III групу з електробезпеки.

Повторна перевірка знань — щороку.

Гігієнічні та ергономічні умови:

Мікроклімат:

оптимальний температурний режим;

відсутність пилу та токсичних речовин;

місцева витяжна вентиляція для джерел шкідливих виділень;

приточна вентиляція — подача свіжого повітря до робочих зон.

Освітлення:

Робота в лабораторії належить до III класу зорових робіт (об'єкти 2–4 мм).

Вимоги: не менше 300 лк (згідно з СНіП 23-05-95).

Вдень — бокове природне освітлення через вікна (площа вікон — 6 м²).

Увечері — штучне освітлення: 6 світильників типу ШОД із лампами ЛБ-80 або ЛДЦ-80, розміщені в два ряди.

Коефіцієнт природної освітленості (КЕО):

Гігієнічні рекомендації:

Після кожної години роботи — 10-хвилинна перерва, щоб зменшити зорове навантаження.

6.3 Пожежна безпека під час виробництва та монтажу пристрою

Під час монтажу та налагодження електронного обладнання використовуються різні електроприлади, неправильне використання яких може призвести до надзвичайної ситуації або пожежі.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Причини виникнення пожеж:

Електричного походження:

іскріння в електрообладнанні;

короткі замикання та перевантаження, що спричиняють перегрів ізоляції проводів;

погані контакти, що утворюють високе перехідне опір і виділяють надмірне тепло;

виникнення електричної дуги внаслідок неправильних дій персоналу.

Неелектричного походження:

несправність або неправильна експлуатація опалювальних приладів;

порушення технологічного процесу, що спричиняє виділення горючих парів або пилу;

куріння в пожежонебезпечних зонах;

самозаймання матеріалів.

Основні причини займання пристрою:

порушення технологічного режиму;

пошкодження або старіння електропроводки.

Для запобігання коротким замиканням і перевантаженням у блоці живлення передбачено:

плавкий запобіжник у ланцюзі живлення 12 В;

мікросхема захисту від перевантажень (КР142ЕН5А, 5 В).

Категорія пожежної небезпеки та захист:

Відповідно до НПБ 105-03, приміщення відноситься до категорії В — виробництво, пов'язане з обробкою горючих матеріалів у холодному стані. За СНиП 2.27-07-97*, ступінь вогнестійкості конструкцій — III ступінь.

Захист мережі забезпечується:

реле та автоматичними вимикачами;

автоматичними схемами захисту, тепловими реле та запобіжниками;

роздільними вимикачами живлення для всіх приладів.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Пожежонебезпечні операції:

До технологічних операцій, які потребують особливої обережності, належать:

пайка, лудіння гарячим припоєм;

обпалення кінців монтажного дроту;

використання легкозаймистих речовин (ЛЗР): етиловий спирт, ацетон, скипидар.

Вимоги:

паяльники повинні мати термостійкі підставки;

обпалення дротів — лише у негорючій витяжній шафі;

ЛЗР зберігаються в герметичних ємностях, відкриваються лише під час роботи;

добова норма ЛЗР не повинна перевищуватись;

система вентиляції має бути оснащена протипожежними клапанами між приміщеннями.

Організаційні заходи:

Заборонено куріння поза спеціально відведеними місцями, обладнаними урнами з водою.

У лабораторії має бути табличка з іменами відповідальних за пожежну безпеку.

Коридори, проходи, евакуаційні виходи — вільні та освітлені.

Енергоживлення подається від трансформаторної підстанції — пріоритет надається сухим трансформаторам, що безпечніші за маслонаповнені.

У лабораторії мають бути наявні:

засоби зв'язку для виклику пожежної служби;

вогнегасник ОУ-2 (ТУ 27-4563-79);

пожежний щит із піском, відрами, баграми.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У разі пожежі необхідно негайно відключити електроживлення рубильником і застосувати вогнегасник. При необхідності — евакуювати персонал.

6.4 Захист довкілля

Етапи виробництва та екологічні ризики:

При виготовленні пристрою застосовуються наступні процеси:

механічна обробка матеріалів (склотекстоліт, метали);

виготовлення друкованих плат (фотолітографія, травлення);

лакування плат;

монтаж за допомогою пайки.

Усі ці етапи можуть мати вплив на навколишнє середовище:

Потенційні джерела забруднення:

стружка та тверді залишки під час фрезерування;

хімікати: хлорне залізо, ацетон, спирт;

пари свинцю при пайці.

Для зниження шкідливих викидів використовується припій ПОС-60, що містить 60% олова та 40% свинцю, замість більш свинцевих аналогів.

Оцінка безпеки під час експлуатації:

пристрій не випромінює шкідливих речовин;

не є радіоактивним;

рівень електромагнітного випромінювання — в межах норми;

не впливає на здоров'я людини або стан довкілля під час експлуатації.

Утилізація та поводження з відходами:

На всіх стадіях виробництва утворюються небезпечні та горючі відходи, зокрема:

залишки припою, свинцю, олова;

обтиральні матеріали;

обрізки пластику, оргскла;

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лакофарбові залишки.

Заходи:

складування в спеціально відведених місцях;

централізована переробка або захоронення згідно з СНиП 2.01.28-85;

використання методів переплавлення, піролізу, нейтралізації, фільтрації;

застосування фільтрів Петрянова на витяжках.

Висновок:

На всіх етапах — від розробки до експлуатації — було вжито комплекс заходів для:

мінімізації впливу на навколишнє середовище;

усунення ризику займання та екологічного забруднення;

відповідності чинним нормам безпеки та екології.

Завдяки продуманій конструкції, правильному технічному обслуговуванню та дотриманню технологічної дисципліни, пристрій є безпечним для людей та навколишнього середовища.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Тема випускної кваліфікаційної роботи бакалавра присвячена розробці системи керування режимами руху гібридного автомобіля, яка дозволяє раціональніше використовувати енергоресурси у різних режимах експлуатації. Це, у свою чергу, сприяє зниженню витрат пального та підвищенню екологічності автомобіля.

У процесі виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра було: проаналізовано існуючі схеми побудови гібридних силових установок; виділено ключові компоненти гібридної трансмісії та розглянуто принцип її роботи;

обґрунтовано вибір послідовно-паралельної гібридної структури як оптимального рішення;

здійснено вибір основних силових агрегатів відповідно до технічного завдання;

розроблено структурну та принципову електричну схему системи керування;

сформовано алгоритм режимів руху гібридного автомобіля;

змодельовано систему в середовищі SIMULINK;

проведено техніко-економічне обґрунтування, аналіз надійності, безпеки та екологічності розробленої системи.

Усі етапи розробки продемонстрували ефективність обраного підходу до створення енергоощадної системи керування рухом транспортного засобу з гібридною силовою установкою, що забезпечує високий рівень екологічної безпеки та енергетичної ефективності.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бичков В.М., Тюрін А.П., Лисенко І.В. Гібридні та електричні транспортні засоби: навч. посіб. — Харків: НТУ «ХП», 2021. — 268 с.
2. Гудзь С.І., Костюченко В.М. Системи електроприводів транспортних засобів. — К.: НАУ, 2020. — 312 с.
3. Козак Л.Ю., Юрченко О.О. Основи електротехніки та електроніки в автомобілях. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. — 256 с.
4. Ehsani M., Gao Y., Longo S., Ebrahimi K. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. — 4th ed. — CRC Press, 2021. — 537 p.
(Основна англomовна література з моделювання гібридних систем)
5. Chan C.C., Chau K.T. Modern Electric Vehicle Technology. — Oxford University Press, 2020. — 320 p.
6. Husain I. Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals. — 3rd ed. — CRC Press, 2021. — 470 p.
7. Mi C., Masrur M.A., Gao D.W. Hybrid Electric Vehicles: Principles and Applications with Practical Perspectives. — Wiley, 2017. — 552 p.
8. MATLAB & Simulink Documentation – Hybrid Electric Vehicle Model.
<https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/ug/hybrid-electric-vehicle-model.html> (Офіційна документація MathWorks)
9. Bassi S., Atkinson D., MATLAB for Engineers and Scientists. — Academic Press, 2020. — 432 p.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

10. Ogata K. *Simulink for Control System Design*. — Pearson, 2020. — 278 p.
11. Yuan Y., Wang L., Liu J. "Design and Simulation of a Hybrid Powertrain Control System Using MATLAB/Simulink." // *IEEE Access*, 2021. — Vol. 9. — pp. 11456–11466.
12. Chen Z., Mi C.C., Xia B. "Modeling and Simulation of a Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle with Fuzzy Logic Control." // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2020.
13. Tarasov V., Shevchenko A. "Energy Management Strategies for HEV Using Model Predictive Control." // *Transportation Research Procedia*, 2021. — Vol. 52. — pp. 48–55.
14. Міщенко В.С., Бойко О.М. *Економіка підприємства: Підручник*. — К.: Центр учбової літератури, 2022. — 424 с.
15. Drury C. *Management and Cost Accounting*. — 11th ed. — Cengage Learning, 2020. — 842 p.
16. Horngren C.T., Datar S.M. *Cost Accounting: A Managerial Emphasis*. — 16th ed. — Pearson, 2018. — 912 p.
17. Вахлаківська І.М., Кудін О.В. *Безпека життєдіяльності та охорона праці*. — Львів: ЛНУ, 2021. — 268 с.
18. ISO 26262:2018 — Road vehicles — Functional safety. (Міжнародний стандарт з безпеки систем управління)
19. Guzzella L., Sciarretta A. *Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization*. — Springer, 2020. — 400 p.

					КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

ДОДАТКИ

					<i>КРБАТ 25. 22116.000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		81