

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.11 - МР.2224 "С" 2023.01.07. 013 ПЗ

СЕМКО СЕРГІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

2024 р.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

УДК 656.052:629.33

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко - технологічного факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

технічного сервісу та інженерного

(назва кафедри)

менеджменту ім. М.П.Момотенка

_____ Вячеслав БРАТІШКО
(підпис) (ПІБ)

_____ Іван РОГОВСЬКИЙ
(підпис) (ПІБ)

«____» _____ 2024 р.

«____» _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Удосконалення системи керування гібридним автомобілем
категорії М1

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»
(код і назва)

Освітня програма «Автомобільний транспорт»
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

_____ доктор технічних наук, професор
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ Войтюк Валерій Дмитрович
(підпис) (ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

_____ К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ Іщенко Валерій Васильович
(підпис) (ПІБ)

Виконав

_____ Семко Сергій Олександрович
(підпис) (ПІБ)

КИЇВ – 2024

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту імені М.П. Момотенка

_____ д.т.н., проф. _____ **Іван РОГОВСЬКИЙ**
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

« ____ » _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
_____ Семку Сергію Олександровичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

(код і назва)

Освітня програма «Автомобільний транспорт»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Удосконалення системи керування гібридним автомобілем категорії М1

затверджена наказом ректора НУБіП України від «07» грудня 2023 р. № 2224 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи Науково – технічна література; результати науково-дослідних робіт по літературних джерелах по вивченню питання системи керування гібридним автомобілем

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз архітектури гібридної системи

2. Основні компоненти гібридних автомобілів категорії М1

3 Функції системи керування гібридним автомобілем категорії М1

4. Розроблення та дослідження моделі системи керування гібридним автомобілем категорії М1

5. Аналіз структурних схем і функціональних характеристик гібридних автомобілів категорії М1

6. Стартап проект

Перелік графічного матеріалу Електронна презентація на 18 слайдах

Дата видачі завдання «10» листопада 2023 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____

(підпис)

Іщенко В.В.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

Семко С.С.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Удосконалення системи керування гібридним автомобілем категорії M1», містить в собі 93 с., 41 рис., 23 табл., 50 літературних джерел.

Магістерська кваліфікаційна робота тісно пов'язана з важливою проблемою підвищення енергоефективності та екологічної безпеки експлуатації транспортних засобів. Актуальність полягає у вирішенні цієї проблеми за рахунок впровадження гібридних методів, задля покращення експлуатаційних якостей силових установок транспортних засобів, які широко застосовують в сучасних гібридних автомобілях.

Розглянуті питання узагальнення методів розроблення моделей систем керування з комплексними коренями на базі математичних платформ передавальних функцій та методу простору станів. Досліджена адекватність отриманих моделей.

Метою роботи є підвищення експлуатаційних характеристик гібридної системи автомобіля категорії M1.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- 1) розроблення структурної схеми системи керування гібридним автомобілем;
- 2) розроблення функціональної схеми системи керування гібридним автомобілем;
- 3) розроблення моделі цифрової системи керування гібридним автомобілем у пакеті MATLAB/Simulink;
- 4) дослідження методів переходу до цифрової системи з комплексними коренями та аналіз якісних характеристик системи керування гібридним автомобілем;
- 5) синтез цифрової системи зі зворотнім зв'язком за станом;
- 6) розробка ПД-регулятора;
- 7) розробка стартап-проекту.

Для вирішення задач магістерської кваліфікаційної роботи використовувались наступні методи:

- моделі передавальних функцій;
- методи переходу до векторно-матричних моделей;
- Z -перетворення;
- алгоритми розрахунку ПД-регулятора;
- моделювання систем за допомогою пакету MATLAB/Simulink.

Об'єкт дослідження: гібридний автомобіль категорії M1.

Предмет дослідження: система керування гібридним автомобілем категорії M1.

Методи дослідження: моделі передавальних функцій, методи переходу до векторно-матричних моделей, Z -перетворення, алгоритми розрахунку ПД-регулятора, моделювання систем за допомогою пакету MATLAB/Simulink.

Ключові слова: ГІБРИДНИЙ АВТОМОБІЛЬ, ЦИФРОВА СИСТЕМА, ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС, КОМПЛЕКСНІ КОРЕНІ, МОДЕЛЮВАННЯ.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
ЗМІСТ.....	5
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ.....	9
1.1. Визначення гібридного автомобіля.....	9
1.2. Послідовна структура.....	11
1.3. Паралельна структура.....	12
1.4. Послідовно-паралельна структура.....	13
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛІВ КАТЕГОРІЇ М1.....	15
2.1. Акумуляторна батарея.....	15
2.1.1. Основне визначення.....	15
2.1.2. Технологія акумуляторної батареї.....	17
2.1.3. Модель акумуляторної батареї.....	19
2.1.4. Особливості високовольтної акумуляторної батареї.....	20
2.1.5. Управління акумуляторною батареєю в системі.....	21
2.1.6. Конструкція акумуляторної батареї.....	23
2.2. Електричний двигун.....	23
2.2.1. Принцип роботи електричних двигунів.....	25
2.3. Двигун внутрішнього згорання.....	26
2.4. Планетарна коробка перемикачів передач.....	28
2.5. Перетворювач-інвертор.....	29
2.6. Насос системи охолодження ДВЗ та інвертора.....	31
РОЗДІЛ 3 ФУНКЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІБРИДНИМ АВТОМОБІЛЕМ КАТЕГОРІЇ М1.....	33
3.1. Застереження щодо експлуатації гібридного автомобіля.....	35
3.2. Режими руху гібридного автомобіля.....	36
3.3. Розподілення енергії в гібридній системі.....	37
3.3.1. Стан готовності (READY-ON).....	37
3.3.2. Рушання з місця.....	39
3.3.3. Рух з номінальною швидкістю.....	39
3.3.4. Рух під час розгону при відкритій дросельній заслінці.....	40
3.3.5. Рух під час сповільнення.....	41
3.3.6. Рух заднім ходом.....	41

3.4.	Функції основних вузлів та деталей гібридного автомобіля.....	42
3.5.	Функції керування в системі.....	45
3.5.1.	Управління гібридною системою.....	45
3.5.2.	Контроль рівня заряду акумуляторної батареї.....	46
3.5.3.	Система управління ДВЗ.....	47
3.5.4.	Загальне керування MG1 і MG2.....	47
3.5.5.	Сигнали управління інвертором.....	48
3.5.6.	Управління підвищуючим перетворювачем.....	48
3.5.7.	Керування головними реле системи.....	49
3.5.8.	Керування системою охолодження для перетворювача-інвертора.....	50
3.5.9.	Керування системою охолодження для ВАБ.....	50
3.5.10.	Координоване управління рекупераивним гальмуванням.....	51
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІБРИДНИМ АВТОМОБІЛЕМ КАТЕГОРІЇ М1..... 52		
4.1.	Перехід до векторно-матричних моделей.....	52
4.2.	Розроблення та дослідження аналітичних моделей цифрових систем керування.....	56
4.3.	Синтез цифрової системи зі зворотнім зв'язком за станом.....	57
4.4.	Розрахунок коефіцієнтів ПІД-регулятора.....	62
РОЗДІЛ 5 АНАЛІЗ СТРУКТУРНИХ СХЕМ І ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛІВ КАТЕГОРІЇ М1..... 69		
РОЗДІЛ 6 СТАРТАП ПРОЕКТ..... 76		
6.1.	Опис ідеї проекту.....	76
6.2.	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту.....	77
6.3.	Розроблення ринкової стратегії проекту.....	81
6.4.	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	83
6.5.	Висновки до розділу 6.....	85
ВИСНОВКИ.....		86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		87

ВСТУП

На збереження зовнішнього середовища направлені проекти, які зменшують шкідливі викиди від автомобілів, знижують витрату нафтових та газових палив, дають поштовх до розвитку гібридних автомобілів та електромобілів, використовують альтернативні екологічно чисті види палива.

Сьогодні на вулицях кожного обласного центру та більш менш великого міста України можна часто зустріти патрульну поліцію, що пересувається на, так званих, гібридних автомобілях (Toyota Prius). Виникає питання – що ж це за такий вид авто – гібридні автомобілі, та які їх переваги перед звичайними. У цьому матеріалі розповімо про особливості гібридного автомобіля та про те, як він працює.

Гібридний автомобіль – це автомобіль, у якому поєднується бензиновий та електричний двигун, причому чудово доповнюючи один одного.

Електродвигун моментально забезпечує додаткову потужність, не витрачаючи паливо і не забруднюючи навколишнє середовище. Бензиновий двигун дозволяє розвинути високу швидкість. Робота в парі дозволяє кожному джерелу енергії працювати в оптимальному режимі, забезпечуючи автомобілю чудові ходові якості і паливну економність.

Одне з джерел економії – зниження споживаної енергії. Гібридні технології дозволяють повертати енергію, яка в звичайних умовах втрачається безповоротно. Зокрема, при гальмуванні електродвигуни діють як генератори, і з подачі блоку керування силовою установкою енергія руху «перекачується» назад в батарею високої напруги.

В якості основного джерела енергії використовується двигун внутрішнього згоряння. Складна комп'ютерна система здійснює безперервну зміну забору повітря з метою забезпечення оптимальних умов роботи двигуна. Це не тільки забезпечує мотору додаткову потужність, але і сприяє значній економії палива і зменшенню викидів вихлопних газів. При цьому не збільшується рівень шуму і не виникають вібрації.

Вдосконалений електромотор-генератор, з'єднаний з бензиновим двигуном, забезпечує плавний розгін, коли ви натискаєте на педаль газу до упору. Високовольтний електромотор гібридної силової установки становить складну і одночасно компактну комбінацію електромотора і електрогенератора.

Для забезпечення енергією електромоторів гібридна силова установка використовує в своїй роботі високопродуктивну нікель-метал-гідридну батарею. У той час як генератор і електромотор є пристроями змінного струму, батарея являє собою пристрій постійного струму. Крім того, вихідна напруга батареї не відповідає вихідній напрузі генератора і величині вхідної напруги електромотора. Тому ці пристрої здійснюють перетворення електроенергії згідно з потребами системи.

При гальмуванні генератор використовується для уповільнення руху авто. При цьому він виробляє електроенергію, яка акумулюється в батареях. У традиційних системах енергія, яка використовується для гальмування, втрачається повністю. На відміну від них, гібридна система надзвичайно ефективна при їзді саме в умовах міста, де часто чергуються розгін і гальмування.

Але єдиної концепції по переобладнанню базового автомобіля в гібридний з метою підвищення його енергоефективності в умовах експлуатації поки що немає. Кожен виробник сучасних автомобілів має свою думку на процес виробництва гібридних силових установок для автомобілів.

Магістерська кваліфікаційна робота пов'язана з важливою проблемою підвищення енергоефективності та екологічної безпеки експлуатації транспортних засобів. Вирішення цієї проблеми можливе за рахунок впровадження гібридних методів, задля покращення експлуатаційних якостей силових установок транспортних засобів, які широко застосовують в сучасних гібридних автомобілях.

Таким чином актуальність роботи пов'язана з економічними та соціальними проблемами сучасності, що обумовлено впровадженням екологічно чистих транспортних засобів і дозволяє підвищити паливну економічність автомобілів й зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ

1.1. Визначення гібридного автомобіля

Гібридний транспортний засіб – це за визначенням транспортний засіб з двома або більше джерелами живлення. Обидва вони можуть брати участь у русі транспортного засобу, як разом, так і самостійно. Також одна з систем повинна бути оборотною [1].

Існує кілька технологій гібридного силового агрегату, в основному, поєднують двигун внутрішнього згорання (ДВЗ) з реверсивною системою, такою як технологія паливних елементів або водень наприклад. Найбільш поширеною технологією є поєднання ДВЗ з однією або кількома електричними двигунами завдяки легкому доступу до електрики через систему електромереж.

Існує кілька рівнів гібридизації, які дозволяють класифікувати транспортні засоби [1-3]:

- мікрогібрид (Micro-hybrid);
- помірний гібрид (Mild-Hybrid);
- повний гібрид (FHEV);
- гібрид, з можливістю підзарядки від електромережі (Plug-in-Hybrid);
- електричний автомобіль розширеного діапазону (EREV).

Мікрогібрид (Micro-hybrid): це стосується звичайних автомобілів із технологією «Start & Stop». Це дозволяє двигуну переставати працювати при невеликих зупинках (зупинка при виїзді з другорядної дороги або зупинка на світлофорі) і починати працювати знову досить швидко, щоб користувач цього не відчував. Ця технологія базується на стартер-генераторі, який допомагає двигуну при перезапуску. Іноді ця система забезпечує регенерацію енергії під час фаз гальмування.

Помірний гібрид (Mild-Hybrid): для автомобіля доступна електрична допомога. Це може допомогти ДВЗ з режимом надуву, доданим до системи «Start & Stop» та рекуперативного гальмування. Honda Insight та Civic, а також Mercedes S400 є прикладами таких гібридних транспортних засобів [1].

Повний гібрид (FHEV) може працювати лише на двигуні внутрішнього згоряння (наприклад, дизель/бензин), електричному двигуні (тобто живленні від акумуляторів) або на комбінації. Toyota Prius – найпоширеніший приклад цього. Повний гібрид не підключається до підзарядки; акумулятор заряджається при запуску двигуна внутрішнього згоряння. Toyota Prius – найпоширеніший приклад цього гібриду а останнім часом і Peugeot 3008 Hybrid, Audi Q5 та BMW ActiveHybrid 5 [1].

Plug-in-Hybrid (PHEV): повністю гібридний автомобіль, який можна заряджати від зовнішнього джерела електричної енергії. Таким чином, вдосконалюється електричний діапазон, і це накладає різні стратегії для використання батареї. Перши й режим, коли батарея використовується якомога більше – режим вичерпання заряду або другий, коли батарея зберігається і стан заряду зберігається майже постійним – режим підтримання заряду. Як впливає з назви, гібридний модуль (PHEV) вимагає підключення до електромережі, щоб повністю зарядити акумулятор. PHEV можна запускати і в електричному режимі без втручання ДВЗ та і в режимі звичайного авто при розрядженій батареї.

Електричний автомобіль розширеного діапазону (EREV): останній рівень перед повним електричним транспортним засобом, EREV використовує двигун внутрішнього згоряння як джерело енергії, іншими словами, для зарядки акумулятора, але не бере безпосередньої участі в тязі транспортного засобу. Призначення цих транспортних засобів полягає у використанні малого двигуна внутрішнього згоряння у найкращій робочій точці, щоб забезпечити найкращу ефективність двигуна.

Як впливає з назви, гібридний модуль (PHEV) вимагає підключення до електромережі, щоб повністю зарядити акумулятор. PHEV можна запускати і в електричному режимі без втручання ДВЗ та і в режимі звичайного авто при розрядженій батареї.

Від Mild-Hybrid до EREV, стратегія управління електричною частиною дуже важлива для того, щоб зменшити споживання палива та покращити глобальну ефективність автомобіля. Можна вибрати кілька режимів роботи щодо ситуації

водіння, наприклад, з повними фазами електричного водіння. На рівень гібридизації автомобіля також впливає спосіб просторової збірки різних компонентів. Дійсно, зв'язок між двома енергетичними системами може бути здійснений різними способами. Рішення зв'язку, пов'язане з конкретним просторовим розташуванням компонентів, визначає архітектуру.

1.2. Послідовна структура

У цьому типі структури механічний зв'язок з колесами повністю виконаний з електричним двигуном (ЕД). Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) пов'язаний з другим електричним двигуном, який працює як генератор і перетворює механічну енергію в електричну енергію. Ця енергія або надходить до першої електричного двигуна, що рухає транспортний засіб, або допомагає заряджати акумулятор. Схема послідовної структура представлено на рисунку 1.1.

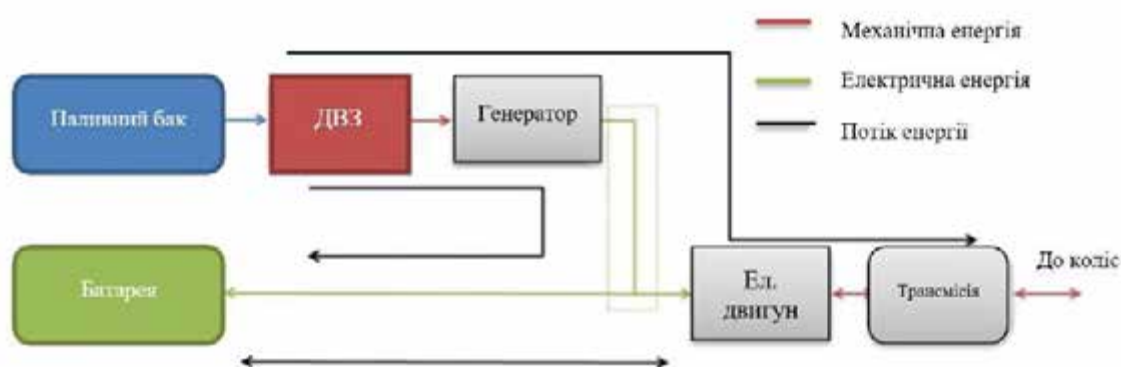


Рис. 1.1. Схема послідовної структури

Однією з переваг цієї структури є те, що вона дає можливість визначати – контролювати режим роботи двигуна внутрішнього згоряння, щоб він міг працювати в області оптимальної ефективності. Однак два електричні двигуни збільшують ціну та вагу цієї структури а також зайнятий обсяг. Крім того, глобальна ефективність структури знижується через багато перетворень енергії між двигуном внутрішнього згоряння та колесами. Дійсно, перетворення енергії від механічної до електричної, а потім назад до механічної зменшує ефективність загальної системи, а отже, і інтерес цієї структури.

Структура цікава під час роботи в містах, завдяки можливостям електричної

ремінним шківом (тип Start & Stop низької потужності), або наприклад, зірочки. Постмуфта можлива завдяки інтеграції електричного двигуна після передачі. Нарешті, зчеплення через дорогу полягає в з'єднання двох енергетичних систем на різних осях коліс, наприклад, використовуваних Peugeot 3008.

Переваги паралельної структури випливають з того, що ця структура дуже близька до звичайного транспортного засобу. Приріст в обсязі, вазі та ціні значний. Однак двигун внутрішнього згоряння безпосередньо пов'язаний з колесами, що робить його більше звичним для управління з метою орієнтації на його оптимальну робочу область. Цей тип структури в основному використовується в малогібридизованих транспортних засобах (мікро- або м'якогібридних) як електричний прискорювач для допомоги двигуну внутрішнього згоряння.

1.4. Послідовно-паралельна структура

Послідовно-паралельна структура – це на структура, що поєднує паралельну та послідовну. Дійсно, використовуються дві системи силових муфт.

Цей метод дає доступ до кращого контролю над двигуном та акумулятором, поєднуючи переваги кожної структури. Схему послідовно-паралельної структури представлено на рисунку 1.3.

Незважаючи на те, що дві структури використовують усі переваги, деякі недоліки залишаються. Ця система з двома електричними двигунами та двома муфтами є великою за обсягом і важкою. Це також ніше для управління, ніж попередні структури, але дає кращий контроль роботи двигуна. Перше покоління Toyota Prius використовує цю архітектуру з гібридною системою Toyota (THS) нещодавно замінено Гібридним приводом синергії (HSD).

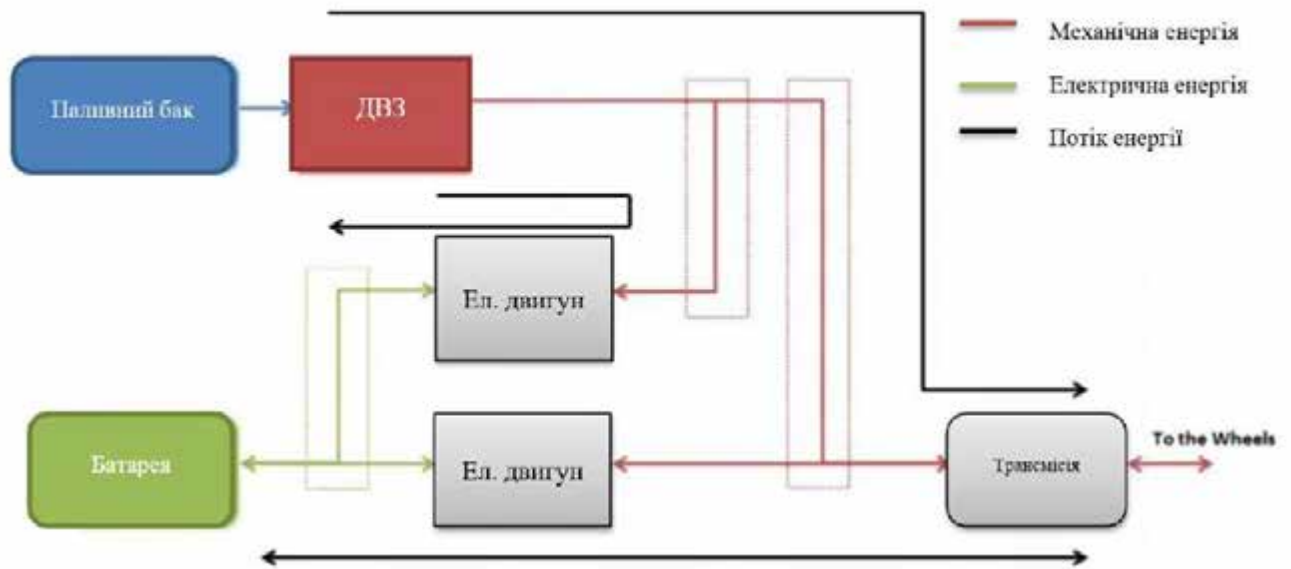


Рис. 1.3. Схема послідовно-паралельної структури

Незважаючи на те, що дві структури використовують усі переваги, деякі недоліки залишаються. Ця система з двома електричними двигунами та двома муфтами є великою за обсягом і важкою. Це також ніше для управління, ніж попередні структури, але дає кращий контроль роботи двигуна. Перше покоління Toyota Prius використовує цю архітектуру з гібридною системою Toyota (THS) нещодавно замінено Гібридним приводом синергії (HSD).

РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛІВ КАТЕГОРІЇ M1

Як було показано раніше, гібридна силова установка складається з декількох основних компонентів, такі як акумулятор, один або два електричні двигуни, двигун внутрішнього згоряння та система перемикачів передач. Також, залежно від використовуваної структури, перемикачів передач може дещо відрізнятися. У цій частині, описуються основні компоненти, що утворюють гібридну силову установку, даючи знання про технології, що використовуються виробниками автомобілів.

2.1. Акумуляторна батарея

2.1.1. Основне визначення

Однією з найважливіших складових частин гібридного силового агрегату є акумулятор, оскільки він є найбільш обмеженим. Його складне обмеження робить його однією з найбільш досліджуваних технологій, як основні інвестиції здійснюються в США, Японії, Китаї та Європі. Розглядаються технології батарейок: нікель-металеві батареї та літій-іонні батареї. Очевидно, що існує багато інших типів акумуляторів, але ці дві технології представляють у всьому світі ринок силових акумуляторів в автомобільному секторі.

Завдання акумулятора – зберігати достатню кількість енергії для забезпечення дальності руху на електроенергії, а також здатність подавати високу потужність протягом коротких періодів. Характеристики прискорення безпосередньо залежать від того, як батарея справляється з цими короткими великими зарядами.

Вага та об'єм акумулятора – також ключові параметри. Його потужності енергії поглинання та розсіювання мають великий вплив на його використання для підтримки швидкої зарядки або фази скидання, які можуть відбутися. Іншим важливим питанням, яке слід згадати, є старіння властивості акумулятора, оскільки автомобіль, як правило, призначений для експлуатації протягом

декількох років або навіть кількох десятиліть.

Те, що в повсякденному житті називають батарейкою, насправді слід називати акумулятором. Акумуляторна батарея складається з декількох модулів, а модуль являє собою збірку комірок. Кількість елементів та організація в модулі визначають основні характеристики акумуляторної батареї. Кілька комірок можна розмістити послідовно та/або паралельно, щоб сформувати модуль. Більш високу напругу можна отримати при використанні комірок у послідовних гілках, тоді як паралельні гілки спрямовані на збільшення вихідного струму.

Цей вибір організації чи структури модуля є основною відмінністю між акумуляторами високої потужності та батареями високої енергії. Батареї високої потужності здатні приймати високу потужність під час фаз зарядки та розрядки, що може бути під час високої прискорення або уповільнення (важлива фаза гальмування). Високоенергетичні батареї, як правило, оптимізують накопичення енергії, щоб збільшити дальність поїздки на автомобілі.

Акумуляторна батарея може характеризуватися кількома факторами [4], найважливішими з них є:

- стан заряду (SOC) акумулятора (зазвичай виражається у відсотках, SOC дає рівень енергії, що залишився в батареї, порівняно з її максимальною ємністю накопичення енергії);
- глибина розряду (DOD) акумулятора (відображає, наскільки близька до розряду батарея);
- життєвий цикл, який відповідає кількості циклів зарядки-розрядки, який батарея може витримати в певному режимі експлуатації, перш ніж не зможе досягти цілей продуктивності;
- календарний термін.

Діаграма Рагона [14] показана на рисунку 2.1, яка дозволяє порівняти різні системи накопичення енергії, беручи до уваги питому енергію та потужність.

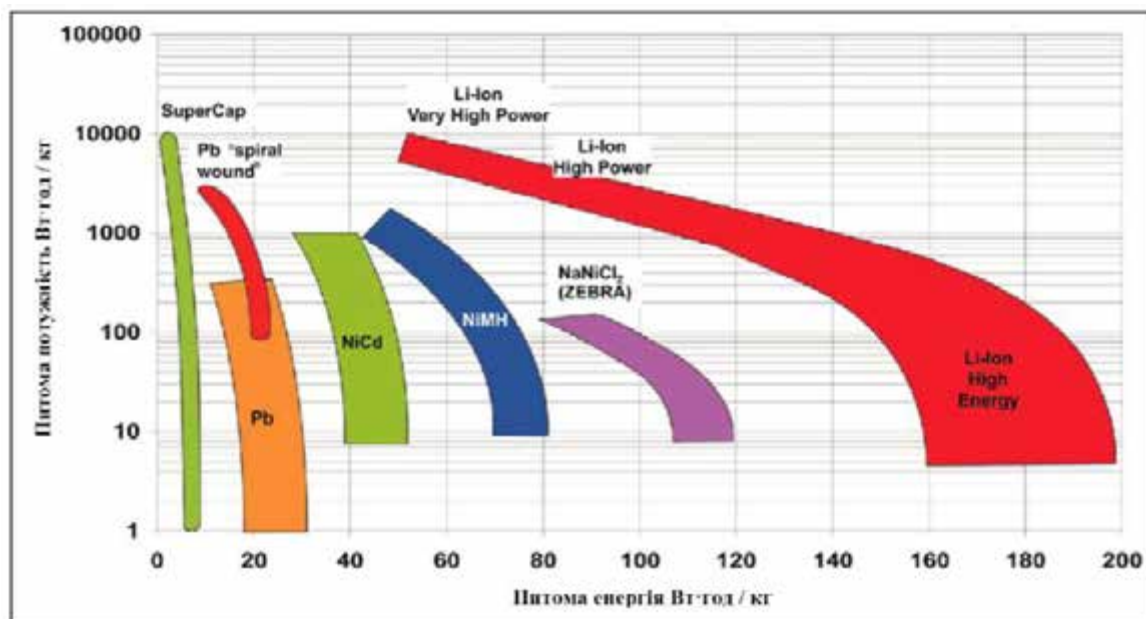


Рис. 2.1. Діаграма Рагона

Діаграма Рагона – це графік, який використовується для порівняння щільності енергії різних накопичувачів енергії. На такій діаграмі наведені значення питомої енергії (у Вт·год / кг) проти питомої потужності (у Вт / кг). Обидві осі є логарифмічними, що дозволяє порівнювати характеристики різних пристроїв. Графіки Рагоне можуть розкривати інформацію про гравіметричну щільність енергії, але не передають подробиць про об'ємну щільність енергії. Як видно з діаграма Рагоне, вона чітко вказує на високу ефективність літій-іонної технології порівняно з іншими.

2.1.2. Технологія акумуляторної батареї

Елемент акумулятора складається з двох різнорідних електродів, відокремлених один від одного електролітом. Електроліт – це іонний провідник та електронний ізолятор. Один електрод називають анодом, а інший – катодом. Під час зарядки на аноді відбувається відновлення (приріст електронів), а окислення (втрата електронів) відбувається на катоді. Позитивно заряджені іони називаються «катионами», а негативні – «аніонами». Електроліт є іонним провідником і забезпечує передачу іонів.

Технологія нікель-метал (NiMH) забезпечила перше покоління гібридних автомобілів. Тоді цей тип акумуляторів був добре відомий з точки зору старіння

та безпеки. Toyota завжди використовувала цю технологію у своїх моделях. Діаграма Рагона на рисунку 2.1. вказує, що це рішення є одним з найцікавіших. Однією з його переваг є те, що акумулятори NiMH вимагають простої системи охолодження повітря, що представляє перевагу щодо ваги, обсягу та вартості. Однак обмеження щодо питомої енергії забезпечують використання цих батарей у високогібридизованих транспортних засобах, таких як PHEV та EREV [1]. Нещодавно BASF (Badische Anilin- & SodaFabrik), світовий лідер у хімічній промисловості, доклав нових зусиль для розвитку. BASF стверджує, що ємність акумуляторів NiMH можна помножити на вісім. Завдяки своїй конкурентоспроможній ціні порівняно з іншими батареями, цей прорив може повністю змінити поточну тенденцію на ринку акумуляторів [13].

Літій-іонні батареї (Li-ion) відносяться до великої групи батарей. Іони можуть надходити з різних матеріалів з різними властивостями. Це спричиняє різницю в результуючому графіку батареї, ціні та потужності [3]. Хоча літій-іонні акумулятори дорожчі, ніж NiMH, вони в основному використовуються виробниками автомобілів у своїх останніх моделях, таких як Tesla, Chevrolet та Nissan [1]. Літій – це сильно відновлювальний метал з помірною масою. Тоді його потенціал цікавий, оскільки дає доступ до високої питомої енергії. Однак літій-іонні акумулятори страждають від короткого терміну життя. Щоб протидіяти цьому ефекту, батареї потрібно збільшувати. Крім того, з міркувань безпеки вхідна потужність обмежена для запобігання утворенню дендриту [13]. Це явище літійу, що накопичується між катодом і анодом, що створює зменшення робочих характеристик, короткі замикання, перегрів або термічний збій, який може навіть спричинити вибухи.

Система охолодження є більш складною, ніж та, яка потрібна для NiMH акумуляторів. Система рідинного охолодження дійсно потрібна, щоб уникнути перегріву батарей, і перш за все для безпеки використання [1]. Така система охолодження додає ваги та складності порівняно з технологією NiMH.

Інші рішення існують і тут не описуються. Наприклад, суперконденсатори все частіше використовуються для їх здатності швидко зберігати і віддавати

енергію. У цьому сенсі суперконденсатори представляють собою життєздатну додаткову систему зберігання для високих потреб у потужності (Наприклад, Система «Start&Stop»).

2.1.3. Модель акумуляторної батареї

Розробка реалістичної моделі батареї є досить складною через її динамічну поведінку та численні взаємодії, що відбуваються в ній. Електрохімічні реакції, взаємний опір, стан заряду, температура, струм заряду та розряду або історія використання – все це параметри, що впливають на поведінку акумулятора [5].

Існують різні типи моделей: електрохімічні моделі, моделі електричних еквівалентних схем і, наприклад, моделі чорних ящиків. Електрохімічні моделі представляють хімічні ефекти та реакції в батареї. Моделі електричних еквівалентних схем – це основні електричні схеми, що складаються з резисторів та конденсаторів, які спрямовані на відтворення поведінки акумулятора.

Існує кілька моделей для різного рівня точності моделі. Еквівалентні схеми моделей в основному використовуються, оскільки вони створюють цікавий компроміс між точністю, складністю та часом обчислення. Очевидно, що проста модель не враховуватиме всіх раніше введених параметрів. Параметри, що враховуються, повинні бути визначені перед вибором та реалізацією моделі. У проекті представлено лише вплив *SOC* та режим роботи акумулятора (зарядка чи розрядка). Перш ніж представляти кілька прикладів моделей акумуляторів, є важливим надати додаткові знання про стан заряду (*SOC*).

Стан заряду визначається як відношення залишкової кількості електроенергії за певний час t у батареї ($Q(t)$) та номінальної ємності акумулятора (Q_0 в Ah). Q_0 являє собою загальну кількість енергії, яка може розряджати від акумулятора при повній зарядці. Рівняння (2.1) показує визначення стану заряду у відсотках. *SOC*, як очікується, буде надана програмою, оскільки це інформація, що передається водієві.

$$SOC(t) = \frac{Q(t_0) - Q(t)}{Q_0} \cdot 100, \quad (2.1.)$$

Нарешті, SOC , виражена у відсотках, визначається рівнянням (2.2) як функція від поточного струму акумулятора $i_{batt}(A)$.

$$SOC(t) = SOC(t_0) - \frac{100}{3600} \int_{t_0}^t \frac{i_{batt}(t)}{Q_0} dt, \quad (2.2.)$$

Оцінка стану заряду є більш складною, але має важливе значення для стратегії використання акумулятора. Це дозволяє зберегти рівень заряду акумулятора безпечним для користувача, а також оптимізувати його використання. Традиційно батарею використовують в діапазоні 10% - 90% від SOC . При більшому 90% і менше 10% заряді батареї можуть відбуватися небажані хімічні реакції, що може спричинити довгострокові пошкодження акумулятора. Крім того, основні коливання напруги акумулятора бувають нижче 10% і більше 90%.

2.1.4. Особливості високовольтної акумуляторної батареї

Так як високовольтна акумуляторна батарея виділяє тепло під час періодично повторюваних циклів зарядки і розрядки, для забезпечення її нормальної роботи застосовується спеціальна система охолодження. Для підвищення ефективності охолодження забір повітря проводиться через спеціальні повітряні забірники, які в основному розташовані під сидінням автомобіля. В окантовці повітряного забірника охолоджуючого повітря передбачений повітряний фільтр.

Під боком заднього сидіння є повітрязабірник, що забезпечує охолодження акумуляторної батареї гібридної системи. Якщо вентиляція блокується, то гібридна батарея може перегрітися, що призведе до зниження ефективності гібридного автомобіля, і може призвести до пошкоджень. Для запобігання перегріву акумуляторної батареї гібридної системи слід регулярно очищати повітрязабірник.

Не допускається попадання в повітрязабірник води і сторонніх матеріалів, оскільки це може викликати коротке замикання і пошкодження акумуляторної батареї гібридної системи. Не допускається перевозити в автомобілі великі обсяги

води, наприклад, бутлі для охолоджувача води. Якщо вода проллється на акумуляторну батарею гібридної системи батарея може бути пошкоджена.

При знятті затиску сервісного розмикача ланцюга, перед виконанням будь-яких перевірок і обслуговування, високовольтний ланцюг буде розірвано, забезпечуючи безпеку під час технічного обслуговування.

Після відключення ланцюгів високої напруги високовольтний конденсатор в перетворювачі-інверторі залишається зарядженим. Після зняття затиску сервісного розмикача ланцюга при обслуговуванні автомобіля з гібридним приводом необхідно почекати не менше 10 хвилин, щоб конденсатор розрядився до початку робіт.

Затиск сервісного розмикача ланцюга ні в якому разі не повинен зніматися, коли система знаходиться в стані готовності READY.

Включення живлення (READY) при зняттю сервісному розмикачі ланцюга може стати причиною несправності. Затиск сервісного розмикача ланцюга включений в розрив ланцюга модуля акумуляторної батареї і дозволяє вручну відключити ланцюг високої напруги. Цей захід гарантує безпеку обслуговування.

Затиск сервісного розмикача ланцюга забезпечений вимикачем блокування. Коли затиск розблоковано, вимикач блокування вимкнений, і ЕБУ гібридної системи вимикає головні реле системи. Однак з міркувань безпеки необхідно вимикати живлення перед тим, як знімати затиск сервісного розмикача ланцюга.

2.1.5. Управління акумуляторною батареєю в системі

Ступінь заряду (SOC)

ЕБУ гібридної системи визначає ступінь заряду високовольтної акумуляторної батареї (SOC) за загальним струмом зарядки і розрядки. Для постійної підтримки ступеня заряду на належному рівні ЕБУ гібридної системи оптимально управляє гібридною системою. На рисунку 2.2. показано графік керування ступенем заряду акумуляторної батареї у часі.

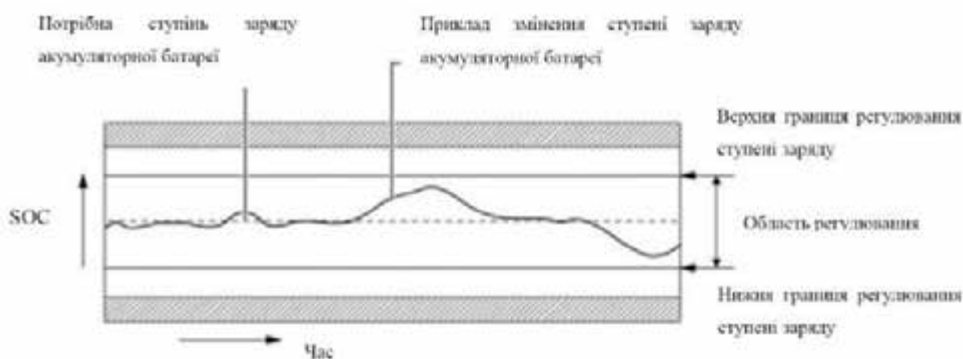


Рис. 2.2. Графік керування ступенем заряду акумуляторної батареї

Реєстрація зниження опору ізоляції

У блокові контролю стану акумуляторної батареї (датчик напруги акумуляторної батареї) вбудована схема виявлення витоку. Схема виявлення витоку безперервно контролює опір ізоляції між ланцюгами високої напруги і масою. На підставі даних від блоку контролю стану акумуляторної батареї (датчика напруги акумуляторної батареї) ЕБУ гібридної системи визначає зниження опору ізоляції.

Схема виявлення витоку електроенергії при зниженні опору ізоляції показана на рисунку 2.3. та містить джерело змінного струму і пропускає через ланцюг високої напруги невеликий змінний струм (позитивний і негативний). Чим нижче опір ізоляції, тим більша напруга надходить на резистор реєстрації, і тим менше хвилі змінного струму. Опір ізоляції визначається за амплітудою хвиль змінного струму.

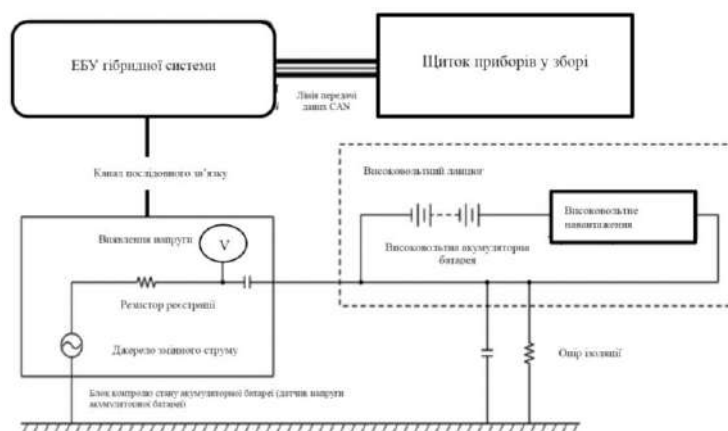


Рис. 2.3. Схема виявлення витоку електроенергії при зниженні опору ізоляції

2.1.6. Конструкція акумуляторної батареї

Високовольтна акумуляторна батарея складається переважно з модулів високовольтної акумуляторної батареї, термістору високовольтної акумуляторної батареї, розподільного блоку гібридної акумуляторної батареї, вентилятору охолодження акумуляторної батареї в зборі, блоку контролю стану акумуляторної батареї (датчик напруги акумуляторної батареї) і затиску сервісного розмикача ланцюга.

У високовольтної акумуляторної батареї використовуються елементи в пластмасових контейнерах. В результаті досягнуті високі показники питомої потужності, маси і терміну служби.

Щоб забезпечити належне охолодження акумуляторної батареї, що виділяє значну кількість тепла під час багаторазових циклів зарядки / розрядки, використовується спеціальна система охолодження з вентилятором.

Високовольтна акумуляторна батарея складається з деякої окремих модулів. Вони з'єднані послідовно за допомогою 2 модулів шин.

Термістор високовольтної акумуляторної батареї включає 3 датчика температури високовольтної акумуляторної батареї і датчика температури впускного повітря високовольтної акумуляторної батареї.

ЕБУ гібридної системи здійснює оптимальне управління системою охолодження, підтримуючи температуру високовольтної акумуляторної батареї в заданому діапазоні відповідно до даних про температуру, одержуваними через блок контролю стану акумуляторної батареї (датчик напруги акумуляторної батареї).

2.2. Електричний двигун

Існує кілька типів електричних двигунів, які можна виділити за типом аліментації та їх швидкісні характеристики обертання [7]. У звіті опишемо три типи електричних машин:

- двигуни постійного струму;
- двигуни змінного струму: синхронні машини альтернативного струму;

➤ індукційні двигуни: асинхронні машини альтернативного струму.

Загальна характеристика електричного двигуна представлена на рис. 2.4.

Існують два режими роботи електричного двигуна:

➤ при постійному крутному моменті: протирушійна сила збільшується лінійно з швидкістю обертання, поки вона не досягне певної межі, така ж поведінка спостерігається і для максимальної потужності також і зазвичай ця межа встановлюється електронною системою постачання і його максимальною напругою;

➤ при постійній потужності протирушійна зусилля підтримується до максимального значення на зменшення магнітного поля збудження в машині, такий процес називається послабленням поля.

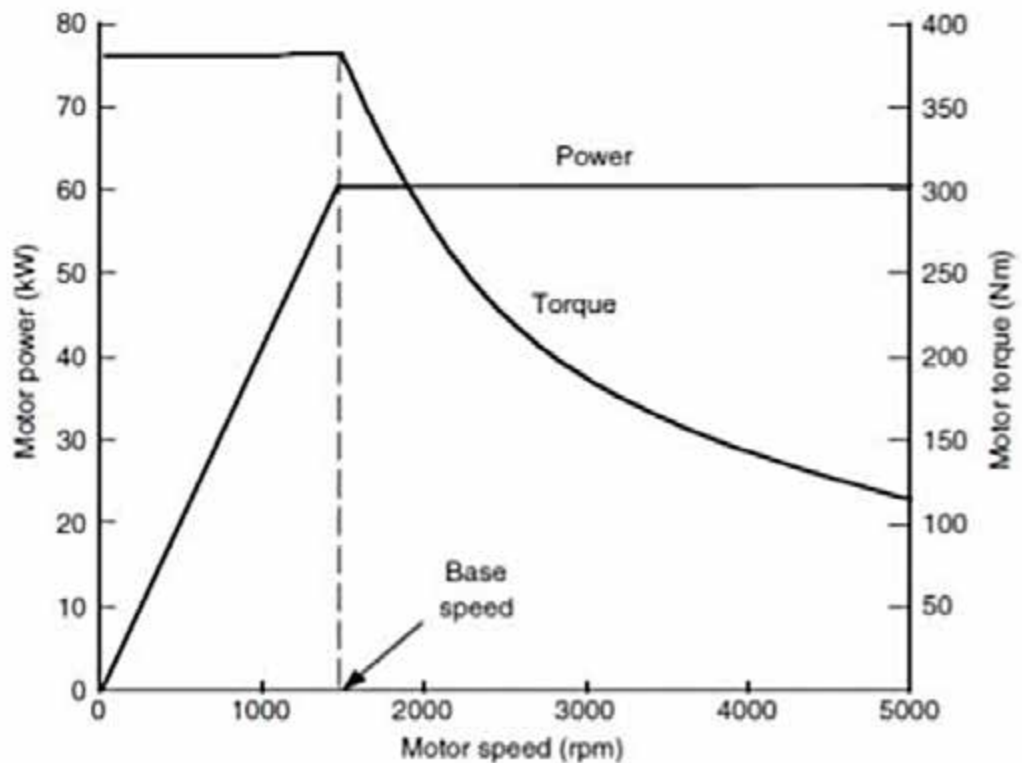


Рис. 2.4. Характеристики електричного двигуна

Швидкість обертання, що встановлює межу між постійним крутним моментом і постійною зоною потужності називається базовою швидкістю або номінальною швидкістю. Вона змінюється в залежності від введеного струму, так що коли струм зростає (як і крутний момент), основна швидкість зменшується.

2.2.1. Принцип роботи електричних двигунів

2.2.1.1. Двигун постійного струму

Двигуни постійного струму використовувались у перших гібридних моделях у 1900-х роках [6]. Ті машини виграли завдяки простому керуванню та відповідали вимогам того часу.

Двигуни постійного струму пристосовані до дуже низьких швидкостей та низької напруги. Контроль крутного моменту може бути точним. Його джерело живлення дуже просте.

Однак у сучасному застосуванні двигуни постійного струму, здається, обмежені з точки зору продуктивності, що зменшує їх використання в транспортних засобах.

2.2.1.2. Синхронні двигуни або двигуни змінного струму

В синхронних двигунах швидкість обертання прямо пропорційна частоті живлення його статора. Ці двигуни є оборотними і можуть створювати альтернативну напругу частоти, пропорційну швидкості обертання. У багатьох системах використовуються синхронні двигуни, оскільки вони дають чудові характеристики і надійні в порівнянні з іншими типами. Основною технологією, яку можна знайти на ринку, є машини з постійними магнітами, навіть якщо також використовуються машини з намотаним ротором.

Машини з постійними магнітами представляють найкращі показники з точки зору ефективності та крутного моменту і потужності [2,6]. Для них потрібне нечасте технічне обслуговування, а контроль є відносно простим. Однак ці машини страждають від дуже низької ефективності на високих швидкостях завдяки методу послаблення поля. Крім того, інколи обмежується максимальна швидкість для запобігання зривання магнітів. Машини з постійними магнітами широко використовуються в гібридних транспортних засобах, таких як Toyota Prius та Chevrolet Volt.

Зона послаблення поля може бути краще контрольована в машинах з намотаним ротором, діючи безпосередньо на струм ротора. Це також дозволяє

уникнути зниження ефективності роботи машини на високих швидкостях.

2.2.1.3. Асинхронні або індукційні двигуни

В асинхронному двигуні існує різниця між синхронною швидкістю та робочою швидкістю. Ця різниця швидкостей, виражена у відсотках, називається ковзанням. Основною відмінністю синхронних двигунів від асинхронних є ротор. Для асинхронних, вона виготовлена або з металевого циліндра або так званих «кліткових» двигунів. Машини з «клітковими» двигунами є найбільш використовуваними в галузі, оскільки їх система управління постійно працює для застосувань із змінним крутним моментом. Вони є так званими двигунами «клітковини», оскільки форма їх ротора - внутрішнього компонента, з'єднаного з вихідним валом - виглядає як клітка. Дві круглі торцеві кришки з'єднані між собою роторними прутками, на які впливає електрорушійна сила (ЕРС), генерована статором, або зовнішній корпус, що складається з багат шарових металевих листів і намотування дроту. Статор і ротор є двома основними частинами будь-якого асинхронного двигуна, і «клітка» є просто одним із методів використання ефекту електромагнітної індукції. Змінний струм, який проходить через статор, створює ЕРС, яка коливається з частотою змінного струму, яка «обертається» навколо ротора, індукуючи протилежні магнітні поля в решітках ротора, викликаючи тим самим рух. [8].

2.3. Двигун внутрішнього згоряння

Протягом 20 століття двигун внутрішнього згоряння був технологією, яка використовувалася у кожному транспортному засобі. Технологія добре відома і постійно вдосконалюється протягом років. Сьогодні зазвичай використовуються два типи двигунів внутрішнього згоряння: двигуни із іскровим запаленням (SI двигуни, також звані двигунами Отто) та дизельні двигуни.

ДВЗ – це зазвичай двотактні та чотиритактні двигуни, але лише чотиритактні двигуни використовуються в автомобільній промисловості. Двотактні двигуни використовуються для меншої потужності наприклад, у деяких

мотоциклах чи бензопилах. Як зазначалося вище, широко використовуються два типи двигунів: двигуни SI та дизельні двигуни.

Основний принцип цих двигунів однаковий, але вони відрізняються використовуваними горючими речовинами, впорскування в камеру згорання, типом згорання, викидами забруднюючих речовин та функціональними характеристиками.

Загалом, двигуни внутрішнього згорання відомі своїми межами щодо крутного моменту та швидкістю обертання:

➤ на низьких обертах двигун страждає від функціонуючої нестабільності через мінливість середнього крутного моменту від одного циклу до іншого;

➤ при високих обертах двигуна, падіння ефективності відбувається через збільшення тертя, а також обмеження механічної цілісності компонентів двигуна, тобто стає обмежувальним;

➤ максимальний крутний момент обмежений кількістю повітря, доступного при згорянні в камері і за рахунок деградації горіння;

➤ крутний момент двигуна, який відповідає поведінці двигуна, коли не впорскується паливо.

Для поліпшення характеристик двигуна або паливної економії було створено кілька систем споживання:

1) зменшення розміру, тобто зменшення обсягу двигуна при однаковій вихідній потужності зменшує тертя/втрати та низький режим експлуатаційних точок;

2) компресор, що виконує підвищення тиску повітря на вході через турбіну. Це називається турбокомпресор, коли він використовує вихлопні гази та турбіну для приводу компресора.

У більшості гібридних автомобілів використовуються двигуни із запалюванням іскрою. Це здебільшого завдяки нормам проти забруднення, які є суворішими для дизельних двигунів, ніж для бензинових двигунів. Перевагою цих двигунів є те, що їх можна швидко і легко вмикати і вимикати, що полегшує управління ними на гібридному транспортному засобі. Наприклад, функція

різкого вимикання ДВЗ при зупинці автомобіля виграє від цих характеристик.

Однак він страждає від низької ефективності, як правило, від 25 до 30% [9]. Це частково можна пояснити використанням горючої речовини (палива), яке має нижчу теплотворну здатність, ніж газ. Натомість дизельні двигуни мають кращу ефективність - від 30 до 45% [9]. Порівняно з бензиновими двигунами вони вимагають більш важкої конструкції для однакової потужності. Це пояснюється різницею в процесі горіння. Дійсно, горіння відбувається шляхом самозаймання палива під час удару / стиснення. Це означає, що для забезпечення вищих рівнів тиску в камері згоряння потрібні більш міцні матеріали.

Крім того, цей тип згоряння виділяє більше CO_2 , ніж бензинові двигуни, а також інші забруднюючі речовини, такі як тверді частинки та оксиди азоту (NO_x). Більше того, з часів скандалу з Volkswagen у 2015 році, у всіх великих містах у всьому світі обговорювали заохочення проти дизельних двигунів.

Хоча деякі виробники автомобілів роблять ставку на гібридні дизельні автомобілі, такі як Peugeot з технологіями HYbrid2 та HYbrid4, бензинові двигуни, схоже, є рішенням, яке в майбутньому буде ще більш узагальненим. Дійсно, дизельні двигуни вже дорожчі за бензинові. Гібридна технологія, що збільшує ціну автомобіля, маючи як гібридну, так і дизельну версії, є найдорожчим варіантом, який може не покриватися меншим споживанням дизельного палива протягом терміну експлуатації автомобіля. Більше того, залежно від гібридної структури, характеристики автомобіля не настільки залежать від теплового джерела живлення. Бензинові двигуни можуть досягти характеристик, близьких до дизельних двигунів.

2.4. Планетарна коробка перемикач

Для електричних гібридних транспортних засобів передача потужності є сполучною ланкою між двигуном внутрішнього згоряння, електричними двигунами та колесами. Для кожної структури існує різне рішення використанні трансмісії. Можливий контроль крутного моменту та / або швидкості залежно від можливостей, які дає структура. Вибраний пристрій розподілу потужності - це

планетарний набір передач, який контролює швидкості різних частин або компоненти системи: частота обертання двигуна, частота обертання електродвигуна та частота обертання вихідного валу [10].

Хоча механічний зв'язок між двома енергосистемами та трансмісією встановлений, а контрольний блок живлення необхідний для того, щоб контролювати розподіл потужності між цими системами.

Рівняння, яке пов'язує швидкості обертання планетарної шестерні, виражається в наступному рівнянні, з s індексом сонячної шестерні, r індексом кільцевої шестерні та c індексом планетарний-носій:

$$\partial = \frac{w_s - w_c}{w_r - w_c} = -\frac{Z_r}{Z_s}, \quad (2.3.)$$

Z_i представляє число зубів і ω_i кутова швидкість (rad/s) компонента i . І отже, глобальна залежність між усіма швидкостями обертання така:

$$w_s - \partial \cdot w_r + (\partial - 1) \cdot w_c = 0, \quad (2.4.)$$

Співвідношення крутного моменту задається рівнянням

$$T_s + T_r + T_c = 0, \quad (2.5.)$$

Отже, крутні моменти даються:

$$T_c = (1 - \partial) \cdot T_s = \frac{\partial - 1}{\partial} \cdot T_r, \quad (2.6.)$$

Оскільки нехтують втратами планетарних передач, рівняння потужності отримується за формулою:

$$\sum P_i = 0 \rightarrow T_s \cdot w_s + T_r \cdot w_r + T_c \cdot w_c, \quad (2.7.)$$

2.5. Перетворювач-інвертор

Перетворювач-інвертор в зборі має компактну полегшену конструкцію і об'єднує в собі ЕБУ електричних двигунів, інвертор та перетворювач. До основних вузлів інвертора і підвищуючого перетворювача відносяться інтелектуальні силові модулі (ІСМ), дросель і конденсатор. ІСМ це інтегрований силовий модуль, який включає сигнальний процесор, процесор забезпечення захисту і біполярні транзистори з ізольованим затвором (БТІЗ) [11].

Відведення тепла від перетворювача-інвертора в зборі забезпечує система

водяного охолодження, ізольована від системи охолодження двигуна.

В якості запобіжного захисту завдяки використанню електроенергії високої напруги передбачені вимикачі блокування, які вимикають головні реле системи за допомогою ЕБУ гібридної системи, коли знята кришка інвертора або високовольтний роз'єм від'єднаний.

Інвертор здійснює комутацію за допомогою ICM. Модулі ICM для двигуна-генератора (MG1) і електродвигуна (MG2), містять мостову схему з БТІЗ.

Підвищуючий перетворювач містить підвищуючий ICM, який здійснює комутацію, дросель, що виконує функції котушки індуктивності, і конденсатор, що запасає електроенергію. Підвищуючий ICM включає БТІЗ2 для підвищення напруги і БТІЗ1 для зниження напруги.

ЕБУ MG входить до складу перетворювача-інвертора в зборі. Відповідно до сигналів, які отримуються від ЕБУ гібридної системи, ЕБУ MG керує інвертором і підвищуючим перетворювачем для приведення в рух двигуна-генератора (MG1) або електродвигуна (MG2), або забезпечення їх роботи в режимі генерування електроенергії.

ЕБУ MG передає в ЕБУ гібридної системи інформацію, необхідну для управління автомобілем, наприклад, дані про атмосферний тиск, температуру інвертора і несправності. Від ЕБУ гібридної системи ЕБУ MG отримує інформацію, необхідну для управління двигуном-генератором (MG1) і електродвигуном (MG2), наприклад, дані про необхідне тягове зусилля і температуру двигуна-генератора (MG1) і електродвигуна (MG2).

У перетворювачі-інверторі в зборі є 4 різних датчики температури. Перший з них знаходиться на ICM для електродвигуна (MG2), два інших встановлені на підвищуючому перетворювачі, а останній розташований в каналі охолоджуючої рідини гібридної системи. Ці датчики вимірюють температури всередині перетворювача-інвертора і передають цю інформацію в ЕБУ гібридної системи через ЕБУ MG. ЕБУ гібридної системи оптимально управляє системою охолодження відповідно до даних про температуру, підтримуючи енергетичні характеристики перетворювача-інвертора в зборі.

Датчики струму інвертора вимірюють трифазний змінний струм, який забезпечує привід двигуна-генератора (MG1) і електродвигуна (MG2). Цей фактичний струм використовується в якості сигналу зворотного зв'язку ЕБУ MG. Датчики струму визначають струм в трифазних обмотках двигуна-генератора (MG1) і електродвигуна (MG2).

2.6. Насос системи охолодження ДВЗ та інвертора

Для забезпечення циркуляції рідини в системі охолодження двигуна автомобіля застосовується центральний насос або помпа. Він може мати механічний або електричний тип приводу. Якщо помпа несправна, вся система охолодження виявиться в неробочому стані, що призведе до перегріву двигуна.

Система охолодження в автомобілі відіграє велику роль, адже від неї безпосередньо залежить правильна робота ДВЗ та гібридної системи протягом тривалого терміну. Якщо для автомобіля з ДВЗ потрібна помпа, яка буде курсувати охолоджуючу рідину через радіатор та двигун, то у гібридному автомобілі додатково встановлюється ще один насос, який по окремій системі охолодження (незалежно від ДВЗ), охолоджує перетворювач-інвертор у зборі та ВАБ.

Конструктивно помпа являє собою класичний відцентровий насос для перекачування води і неагресивних рідин. Вона складається з наступних деталей:

- 1) герметичний корпус (має складну форму і найчастіше виготовляється з алюмінієвих сплавів, для підключення до системи в корпусі виконані два патрубк - всмоктуючий і напірний);
- 2) вал, що здійснює передачу обертання від приводу до крильчатки помпи;
- 3) крильчатка, або робоче колесо;
- 4) привідний шків;
- 5) ущільнювачі (сальники), які запобігають витоку охолоджуючої рідини в місцях кріплення насоса до магістралей.

Головним завданням насоса системи охолодження є створення

надлишкового тиску для забезпечення примусової циркуляції рідини в контурах. З практичного боку це прискорює процес теплообміну між вузлами двигуна і охолоджувальною рідиною.

При запуску двигуна автомобіля привід насоса через ремінну передачу і вал передає обертальний рух робочого колеса. У цей момент на вході (всмоктуючому патрубку) створюється розрідження, що сприяє всмоктуванню рідини в помпу. Рідина при цьому знаходиться в охолодженому стані, так як надходить з радіатора системи охолодження.

Потрапляючи в центральну частину помпи, рідина рухається по лопатей крильчатки і під дією відцентрової сили нагнітається через вихідний патрубок в системи охолодження двигуна (до голівки блоку циліндрів). Під дією високого тиску охолоджуюча рідина проходить по контуру через основні вузли і виконує відведення тепла. Після цього вона знову повертається до радіатора, де охолоджується і всмоктується насосом для нового циклу охолодження.

В сучасному автомобілебудуванні насоси охолоджуючої рідини не мають принципових конструктивних відмінностей. Але вони можуть розділятися в залежності від типу приводу, призначення і конструкції корпусу. Привід насоса може здійснюватися двома способами. Перший спосіб механічний, коли вал помпи з'єднаний за допомогою пасової передачі з колінчастим валом або розподілюючим валом двигуна. В цьому випадку вона приводиться в рух синхронно з запуском двигуна. Наступний спосіб – електричний, в якому вал насоса приводиться в рух додатковим електродвигуном, робота якого контролюється електронним блоком управління двигуна внутрішнього згорання (ЕБУ ДВЗ).

У випадку з гібридним автомобілем використовується також електричний насос для охолодження інвертор та ВАБ. Цей електричний насос починає працювати при ввімкненні живлення автомобіля. ЕБУ гібридної системи керує режимами роботи насоса в залежності від температури інвертора та ВАБ, збільшуючи чи зменшуючи його потужність.

РОЗДІЛ 3 ФУНКЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІБРИДНИМ АВТОМОБІЛЕМ КАТЕГОРІЇ М1

В автомобілях з гібридним приводом спільно використовуються джерела енергії 2 видів: ДВЗ і високовольтна акумуляторна батарея, що дозволяє користуватися перевагами кожного з цих джерел і одночасно компенсувати їх недоліки. В результаті забезпечується ефективна робота автомобіля. На відміну від електромобілів автомобілі з гібридним приводом не мають потреби у зовнішній підзарядці акумуляторних батарей. Таким чином, для експлуатації автомобілів з гібридним приводом не потрібна спеціальна інфраструктура. У різних областях триває технічне вдосконалення джерел енергії (таких як двигуни і паливні елементи). Гібридна система являє собою гнучку систему, в якій використовуються високоефективний силовий агрегат і електродвигуни. В автомобілях з гібридною системою є високовольтні електричні ланцюги. Тому при розробці таких автомобілів особлива увага приділялася захисту водіїв та механіків від ураження електричним струмом.

Концепція гібридного автомобіля дає 5 основних переваги: зниження витрати палива, зменшення токсичності відпрацьованих газів, плавний розгін і безшумна робота.

Система управління гібридною системою виконує наступні функції:

1) автоматичне вимикання двигуна на холостому ходу. Двигун, що працює на холостому ходу, автоматично зупиняється (зупинка двигуна на холостому ходу) для скорочення втрат енергії;

2) ефективне управління приводом. Коли ККД двигуна малий, цей привід дає автомобілю можливість рухатися тільки за рахунок енергії електродвигуна. Разом з тим, при високому ККД двигуна він забезпечує вироблення електроенергії. Таке управління дозволяє домогтися максимального сумарного ККД автомобіля;

3) режим приводу EV (режим електромобіля). Якщо водій натискає перемикач при виконанні відповідних умов, автомобіль може рухатися з

приводом тільки від електродвигуна;

4) допоміжне використання електродвигуна. При розгоні потужність електродвигуна додається до потужності ДВЗ;

5) рекуперативне гальмування (Рекуперація енергії). Під час уповільнення, а також при натисненні педалі гальма частина енергії, яка зазвичай була б втрачена у вигляді тепла, накопичується у вигляді електричної енергії, що підлягає повторному використанню, наприклад, для живлення електродвигуна.

На рисунку 3.1 зображено розміщення основних вузлів гібридної системи на прикладі Toyota RAV4 Hybrid.



Рис. 3.1. Розміщення основних вузлів гібридного системи в Toyota RAV4 Hybrid

Перетворювач-інвертор в зборі складається з інвертора, підвищуючого перетворювача та перетворювача постійного струму. Гібридна трансмісія в свою чергу містить в собі два двигуна-генератора. Для охолодження перетворювача-інвертора і трансмісії використовується спеціальна система охолодження, незалежна від системи охолодження двигуна, яка зображена на рисунку 3.2.

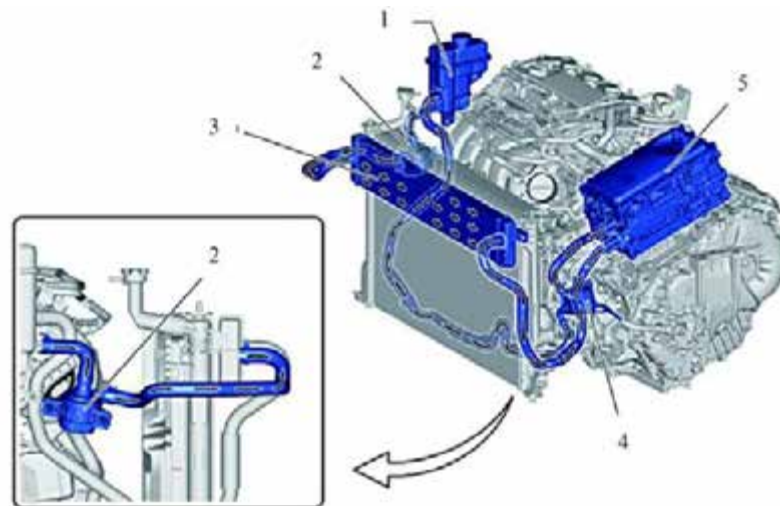


Рис. 3.2. Система спеціального охолодження перетворювача-інвертора та трансмісії

(1 - Розширювальний бачок інвертора в зборі, 2 - Насос системи охолодження інвертора з електродвигуном в зборі, 3 - Радіатор в зборі, 4 - Гібридна трансмісія в зборі: масляний радіатор, 5 - Перетворювач-інвертор в зборі: інвертор, підвищувальний перетворювач, перетворювач постійного струму)

3.1. Застереження щодо експлуатації гібридного автомобіля

Під час експлуатації гібридного автомобіля важливими є запобіжні заходи щодо високої напруги гібридної системи. Захист від високої напруги реалізується 2 способами: ізоляцією ланцюгів високої напруги, відключенням ланцюгів високої напруги. Гібридна система також визначає, чи не знижено опір ізоляції між системою високої напруги і масою.

Ізоляція ланцюгів високої напруги. Ланцюг високої напруги пов'язує високовольтну акумуляторну батарею, перетворювач-інвертор в зборі, гібридну трансмісію в блоці з головною передачею і компресор електродвигуна в зборі. Кожне з цих пристроїв підключається з використанням силового кабелю і електрично ізолюється корпусами і кожухами. Силовий кабель за допомогою дрютяної сітки, влаштованої в електричну ізоляцію проводів. На рисунку 3.3 на прикладі Toyota RAV4 Hybrid показано елементи гібридної системи, які з'єднуються силовим кабелем.

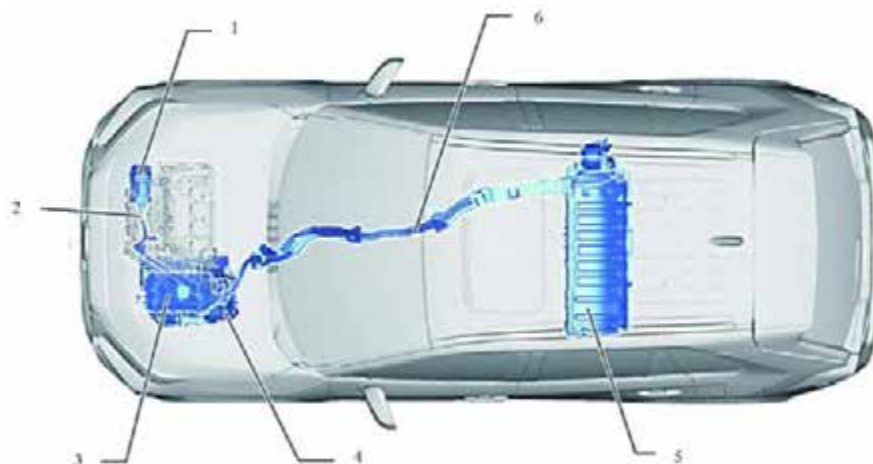


Рис. 3.3. Елементи гібридної системи, які з'єднуються силовим кабелем (1 - Компресор з електродвигуном в зборі, 2 - Силовий кабель (джгут проводів системи кондиціонування гібридного автомобіля), 3 - Перетворювач-інвертор в зборі, 4 - Гібридна трансмісія в зборі, 5 - Високовольтна акумуляторна батарея, 6 - Силовий кабель (джгут проводів під підлогою гібридного автомобіля))

3.2. Режими руху гібридного автомобіля

У гібридній системі тягове зусилля створюється двигуном і MG2, а MG1 використовується системою в основному в якості генератора. Система оптимальним чином поєднує ці зусилля в залежності від умов руху.

ЕБУ гібридної системи безперервно контролює ступінь заряду високовольтної акумуляторної батареї і її температуру, а також температуру охолоджуючої рідини двигуна і стан електричного навантаження. Якщо який-небудь контрольований параметр не відповідає вимогам, коли індикатор READY включений, і важіль перемикачів передач знаходиться в будь-якому положенні, крім N, або автомобіль рухається заднім ходом, ЕБУ гібридної системи дає сигнал запуску двигуна для приведення в рух MG1 для зарядки високовольтної акумуляторної батареї.

Гібридна система призводить автомобіль в рух, оптимально керуючи спільною роботою двигуна, двигуна-генератора MG1 і MG2 відповідно до умов руху, зазначеними в рисунку 3.4 та таблиці 3.1.

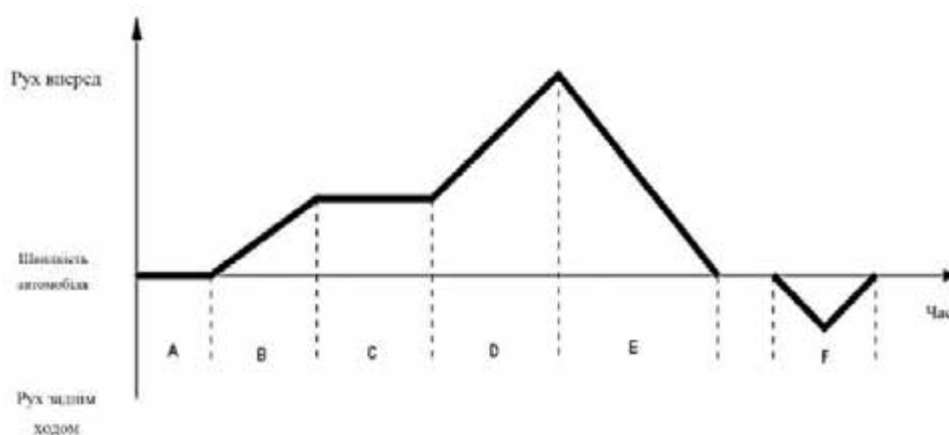


Рис. 3.4. Режими руху гібридного автомобіля

Таблиця 3.1.

Назви режимів руху гібридного автомобіля на рисунку 3.4.

A	Стан готовності (READY-ON)
B	Рушання з місця
C	Рух з номінальною швидкістю
D	Під час розгону при повністю відкритій дросельній заслінки
E	Під час уповільнення
F	Рух заднім ходом

3.3. Розподілення енергії в гібридній системі

У цьому підрозділі на рисунках 3.5 - 3.11 цифрами показано наступні елементи: 1 - ДВЗ, 2 - гібридна трансмісія в зборі, 3 - диференціал, 4 - планетарна передача ділення потужності, 5 - редуктор електродвигуна, 6 - MG1, 7 - MG2, 8 - перетворювач інвертор в зборі, 9 - ВАБ.

3.3.1. Стан готовності (READY-ON)

Іноді, навіть якщо водій включає живлення (READY), двигун не запускається. В цьому випадку двигун, MG1 і MG2 залишаються зупиненими. Двигун запускається тільки при виконанні певних умов щодо температури охолоджуючої рідини двигуна, ступеня заряду високовольтної акумуляторної батареї, температури високовольтної акумуляторної батареї і електричного навантаження.

Якщо після поїздки водій зупиняє автомобіль і переводить важіль перемикачів передач в положення «Р», ЕБУ гібридної системи залишає двигун працювати. Двигун продовжить працювати, поки ступінь заряду високовольтної акумуляторної батареї, температура охолоджуючої рідини двигуна, температура високовольтної акумуляторної батареї та стан електричного навантаження не досягнуть певного рівня.

Якщо ЕБУ гібридної системи визначає, що будь-який з контрольованих ним параметрів вимагає запуску двигуна, коли індикатор READY включений, і вибрано положення «Р», ЕБУ гібридної системи включає MG1, щоб запустити двигун. На рисунку 3.5 показано розподілення енергії в гібридній системі в стані готовності (READY-ON) при запуску двигуна.

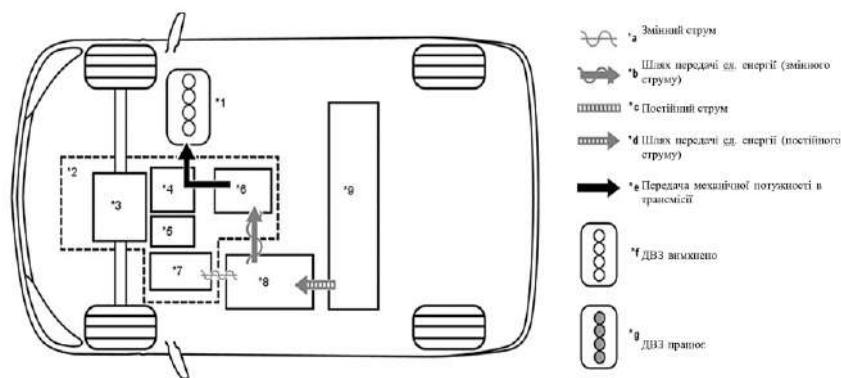


Рис. 3.5. Розподілення енергії в гібридній системі в стані готовності (READY-ON) при запуску двигуна

Під час прокручування колінчастого вала двигуна з метою запобігання обертання коронної шестерні і ведучих коліс реактивним зусиллям сонячної шестерні MG1, струм також подається в MG2, щоб не допустити обертання MG2. Ця функція називається «реактивне регулювання».

На рисунку 3.6 зображено як відбувається зарядка акумуляторної батареї при нерухомому автомобілі, але при ввімкнутому живленні READY-ON.

Якщо ступінь заряду високовольтної акумуляторної батареї низький, акумуляторна батарея заряджається MG1, що приводиться в рух двигуном.

Як видно з рисунку 3.6 зарядка відбувається за допомогою роботи двигуна внутрішнього згорання через передачу механічної потужності в

трансмисії до двигуна-генератора MG1. Далі змінний струм через канали передається до перетворювача-інвертора в зборі, а звідти постійний струм надходить до високовольтної акумуляторної батареї.

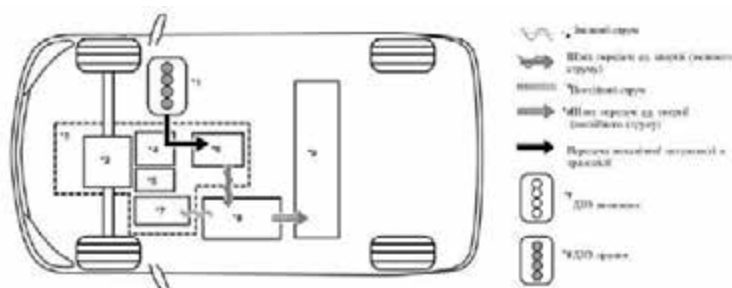


Рис. 3.6. Зарядка акумуляторної батареї при нерухомому автомобілі, але при ввімкнутому живленні READY-ON

3.3.2. Рушання з місця

При рушанні автомобіля з місця він приводиться в рух за допомогою MG2. На рисунку 3.7. показано розподілення енергії в гібридній системі при рушанні з місця автомобіля.

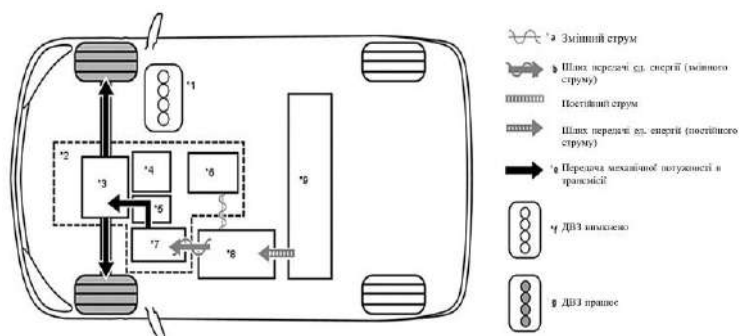


Рис. 3.7. Розподілення енергії в гібридній системі при рушанні з місця автомобіля

Якщо ступінь заряду високовольтної акумуляторної батареї низький, акумуляторна батарея заряджається MG1, що приводиться в рух двигуном. Ця потужність також використовується для живлення MG2.

3.3.3. Рух з номінальною швидкістю

Коли автомобіль рухається з постійною швидкістю, двигун працює в найбільш ефективному діапазоні, забезпечуючи автомобіль потужністю.

Тягове зусилля двигуна розділяється на два зусилля в планетарній передачі поділу потужності. Одна частина тягового зусилля використовується для прямого

приводу коліс, а інша - для генерування електроенергії за допомогою MG1. На рис. 3.8. показано розподілення енергії в гібридній системі при руху автомобіля з постійною швидкістю.

Електроенергія від MG1 використовується для приводу MG2. Він створює додаткове зусилля до тягового зусилля ДВЗ, переданому безпосередньо, допомагаючи знизити витрату палива. Відповідно якщо ступінь заряду високовольтної акумуляторної батареї низький, велика частина потужності ДВЗ використовується для генерації електроенергії за допомогою двигуна-генератора MG1. Він безпосередньо заряджає батарею.

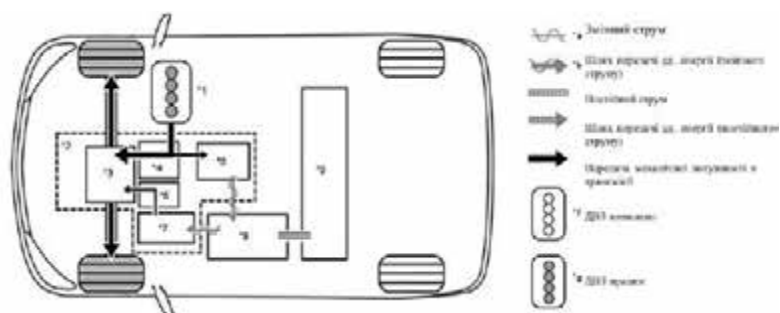


Рис. 3.8. Розподілення енергії в гібридній системі при руху автомобіля з низьким навантаженням

3.3.4. Рух під час розгону при відкритій дросельній заслінці

Коли автомобіль переходить з режиму руху з постійною швидкістю при низькому навантаженні в режим розгону при повністю відкритій дросельній заслінці, система доповнює крутний момент MG2 електричною потужністю високовольтної акумуляторної батареї. На рис. 3.9. показано розподілення енергії в гібридній системі під час розгону автомобіля.

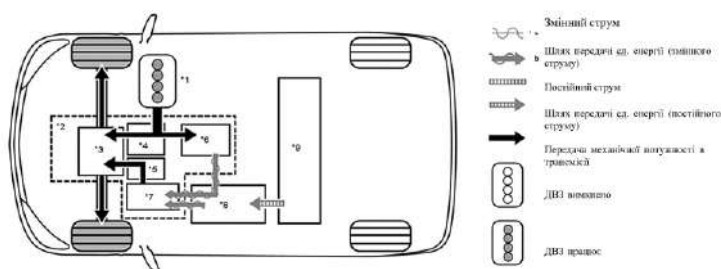


Рис. 3.9. Розподілення енергії в гібридній системі під час розгону автомобіля

3.3.5. Рух під час сповільнення

Коли автомобіль рухається з важелем перемикавання передач в положенні «D» і сповільнюється, двигун вимикається, і тягове зусилля від двигуна внутрішнього згоряння на колесах стає рівним нулю. Після цього колеса надають рушійну енергію двигуну-генератору MG2, змушуючи його працювати в режимі генератора, заряджаючи високовольтну акумуляторну батарею. Коли MG2 працює в якості генератора, він створює опір обертанню коліс, забезпечуючи гальмування.

Якщо автомобіль уповільнює рух на високій швидкості, колінчастий вал двигуна не припиняє роботу. Двигун буде підтримувати задану швидкість в цілях захисту планетарної передачі в трансмісії. Розподілення енергії в гібридній системі під час сповільнення автомобіля показано на рисунку 3.10.

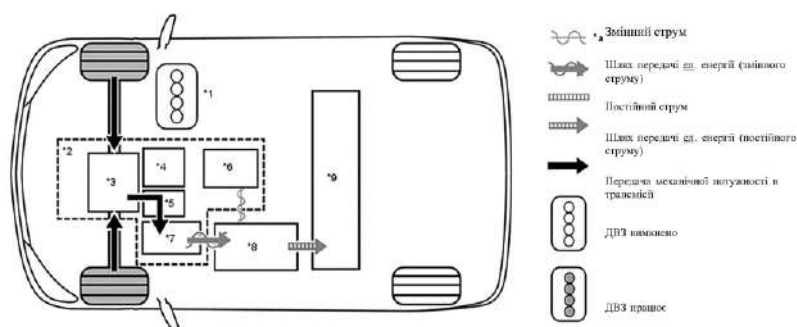


Рис. 3.10. Розподілення енергії в гібридній системі під час сповільнення автомобіля

3.3.6. Рух заднім ходом

Коли автомобіль рухається заднім ходом, потужність передається від MG2. В цей час MG2 обертається в протилежному напрямку руху, ДВЗ може залишатися зупиненим, а MG1 обертається в такому напрямку, при якому не генерується електроенергія.

Якщо під час руху заднім ходом будь-який з контрольованих ЕБУ гібридної системи параметрів (ступінь заряду високовольтної акумуляторної батареї, температура високовольтної акумуляторної батареї, температура охолоджуючої рідини двигуна і електричне навантаження) досягають певного рівня, двигун запускається за допомогою MG1. Представлений рисунок 3.11 показує розподілення енергії в гібридній системі при руху автомобіля заднім

ХОДОМ.

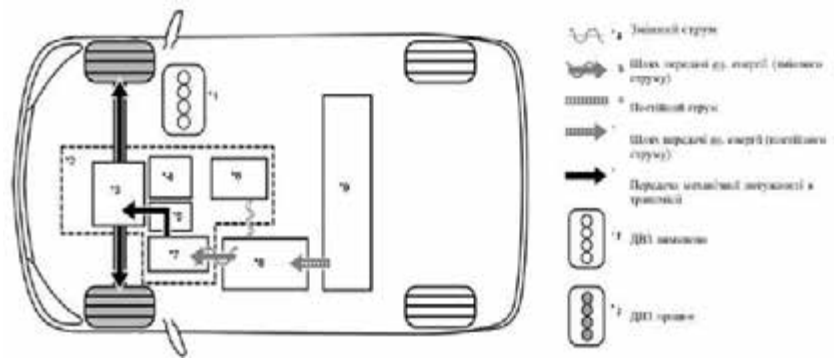


Рис. 3.11. Розподілення енергії в гібридній системі при руху автомобіля заднім ходом

3.4. Функції основних вузлів та деталей гібридного автомобіля

ЕБУ гібридної системи здійснює комплексне управління гібридною системою, а саме:

- отримує інформацію від різних датчиків і ЕБУ (ЕБУ ДВЗ, ЕБУ MG, блоку контролю стану акумуляторної батареї (датчика напруги акумуляторної батареї) і ЕБУ системи протиковзання) і, на підставі цих даних, розраховує необхідний крутний момент і потужність;
- ЕБУ гібридної системи передає результати обчислень в ЕБУ ДВЗ, ЕБУ MG і ЕБУ системи протиковзання;
- контролює ступінь заряду (SOC) високовольтної акумуляторної батареї;
- контролює руйнування електричної ізоляції високовольтної системи;
- керує перетворювачем постійного струму;
- керує насосом системи охолодження інвертора з електродвигуном в зборі;
- керує вентилятором системи охолодження акумуляторної батареї в зборі.

Гібридна трансмісія в зборі складається з наступних компонентів:

- 1) двигун-генератор №1 (MG1) - має привід від двигуна та генерує високу напругу, що пускає в хід MG2 і забезпечує зарядку високовольтної

акумуляторної батареї та крім того, він виконує функції стартера під час пуску двигуна;

2) електродвигун №2 (MG2) - приводиться в рух електроенергією від MG1 і високовольтної акумуляторної батареї створює тягову силу для ведучих коліс, під час гальмування, а також коли педаль акселератора не натиснута, виробляє електроенергію високої напруги для підзарядки ВАБ;

3) датчик температури двигун-генератор (для MG1) - визначає температуру MG1;

4) датчик температури електродвигуна (для MG2) - визначає температуру MG2;

5) датчик температури ATF - визначає температуру охолоджуючої рідини в трансмісії;

6) планетарна передача поділу потужності - відповідним чином розподіляє тягове зусилля двигуна для приведення автомобіля в рух, а також для приводу MG1;

7) редуктор електродвигуна - знижує частоту обертання MG2 відповідно до характеристик редуктора з ціллю збільшення крутного моменту.

Перетворювач-інвертор в зборі включає в наступні елементи:

1) інвертор - перетворює постійний струм від підвищуючого перетворювача в змінний струм для MG1 і MG2 та навпаки (із змінного струму в постійний);

2) підвищуючий перетворювач - підвищує номінальну постійну напругу ВАБ постійного струму до максимальної напруги постійного струму і навпаки;

3) перетворювач постійного струму - знижує номінальну напругу високовольтної акумуляторної батареї постійного струму приблизно до 14 В, забезпечуючи електроживлення компонентів електрообладнання, а також для підзарядки допоміжної акумуляторної батареї;

4) електронний блок керування MG - керує інвертором і підвищуючим перетворювачем відповідно до сигналів, що отримуються від ЕБУ

гібридної системи, забезпечуючи роботу MG1 і MG2 в режимі генератора або електродвигуна.

5) датчик температури перетворювача-інвертора - визначає температуру деталей перетворювача-інвертора в зборі, а також температури охолоджуючої рідини гібридної системи;

Високовольтна акумуляторна батарея включає в себе наступні елементи:

1) модулі ВАБ - забезпечують електроживлення для MG1 і MG2 та заряджаються від них у відповідності з умовами руху автомобіля;

2) зажим сервісного розмикача електричного ланцюга - при знятті затиску сервісного розмикача ланцюга для перевірки або обслуговування автомобіля високовольтний ланцюг акумуляторної батареї відключається;

3) блок контролю стану акумуляторної батареї (датчик напруги акумуляторної батареї) - контролює стан високовольтної акумуляторної батареї (напруга, температура і струм) і передає цю інформацію в ЕБУ гібридної системи;

4) датчик температури високовольтної акумуляторної батареї - визначає значення температури в різних місцях високовольтної акумуляторної батареї;

5) вентилятор охолодження акумуляторної батареї в зборі працює під управлінням ЕБУ гібридної системи для охолодження ВАБ;

6) вимикач блокування (для затиску сервісного розмикача ланцюга для кришки інвертора) перевіряє, що затиск сервісного розмикача ланцюга і кришка інвертора встановлені;

Насос системи охолодження інвертора з електродвигуном в зборі працює під управлінням ЕБУ гібридної системи для охолодження перетворювача-інвертора і мотор-генераторів MG1 і MG2.

Компресор з електродвигуном в зборі приводиться в дію ЕБУ гібридною системою, використовуючи живлення від високовольтної акумуляторної батареї і впуску, стискає і випускає холодоагент з частотою обертання, обчисленої блоком управління системою кондиціонування в зборі, щоб забезпечити роботу системи кондиціонування постійно незалежно від робочого стану двигуна.

Силовий кабель поєднує ВАБ, перетворювач-інвертор в зборі, гібридну трансмісію в блоці з головною передачею і компресор з електродвигуном в зборі.

Датчик положення важеля перемикання передач визначає перетворює фізичне положення важеля перемикання передач в електричні сигнали і передає їх в ЕБУ гібридної системи.

Датчик положення педалі акселератора в зборі перетворює положення педалі акселератора в електричний сигнал і передає його в ЕБУ гібридної системи.

Датчик стану акумуляторної батареї в зборі визначає струм, напругу, температуру акумуляторної батареї, SOC (рівень заряду акумуляторної батареї у відсотках) та характеристики допоміжної акумуляторної батареї.

ЕБУ системи просковзування (підсилювач гальмівної системи зголовним циліндром в зборі) під час гальмування розраховує необхідне зусилля рекуперативного гальмування і передає результат в ЕБУ гібридної системи. ЕБУ системи SRS (центральний блок управління системи SRS) При зіткненні передає сигнал розгортання подушок безпеки в ЕБУ гібридної системи.

3.5. Функції керування в системі

3.5.1. Управління гібридною системою

ЕБУ гібридної системи обчислює необхідну тягове зусилля виходячи з сигналу датчика положення важеля перемикання передач, кута повороту педалі акселератора і швидкості автомобіля. Воно здійснює управління таким чином, щоб необхідне тягове зусилля створювалося за рахунок оптимального поєднання потужностей MG1, MG2 і ДВЗ [12].

ЕБУ гібридної системи розраховує тягове зусилля двигуна, виходячи з необхідного тягового зусилля, визначеного на підставі команд водія і умов руху автомобіля. Щоб створити таке тягове зусилля, ЕБУ гібридної системи передає сигнали в ЕБУ ДВЗ. Також ЕБУ гібридної системи контролює ступінь заряду і температуру високовольтної акумуляторної батареї, а також температури MG1 і MG2, що дозволяє оптимально управляти цими пристроями.

3.5.2. Контроль рівня заряду акумуляторної батареї

ЕБУ гібридної системи обчислює ступінь заряду високовольтної акумуляторної батареї по струму заряду-розряду, що вимірюється датчиком струму ВАБ. На підставі обчисленого значення ЕБУ гібридної системи безперервно управляє зарядкою/розрядкою, підтримуючи необхідний ступінь заряду акумуляторної батареї.

У процесі руху автомобіля високовольтна акумуляторна батарея піддається періодично повторюваним циклам зарядки-розрядки: вона розряджає МГ2 при розгоні і заряджається за рахунок рекуперативного гальмування при уповільненні. Коли ступінь заряду знижується нижче мінімального рівня, ЕБУ гібридної системи збільшує корисну потужність двигуна для приведення в рух МГ1, який заряджає високовольтну акумуляторну батарею [12].

Блок контролю стану акумуляторної батареї (датчик напруги акумуляторної батареї) перетворює сигнали, що характеризують стан високовольтної акумуляторної батареї (напруга, струм і температуру), в цифрові сигнали і передає їх в ЕБУ гібридної системи по каналу послідовного зв'язку. Ці сигнали потрібні, щоб визначити ступінь заряду, яка обчислюється ЕБУ гібридної системи. На рисунку 3.12. показано схему передачі інформації для керування рівнем заряду акумуляторної батареї.

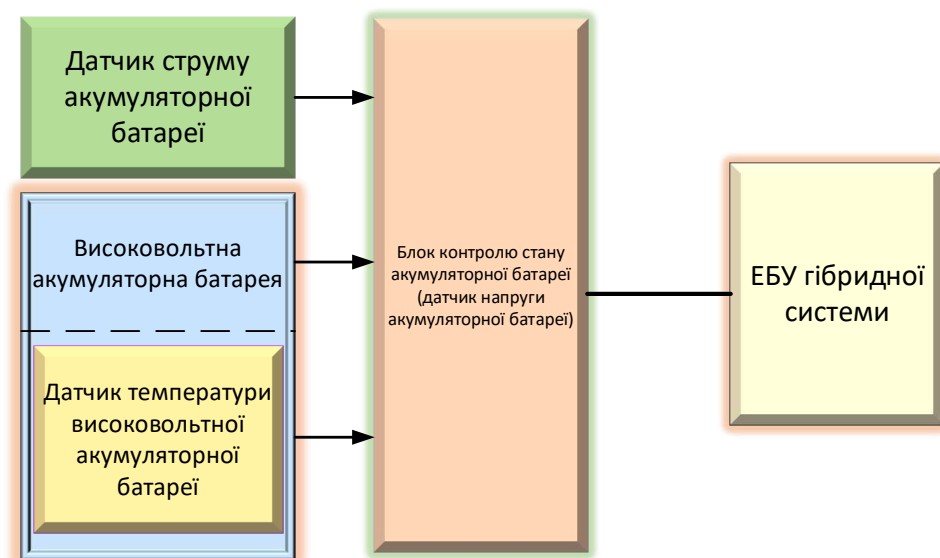


Рис. 3.12. Схема передачі інформації для керування рівнем заряду акумуляторної батареї

3.5.3. Система управління ДВЗ

ЕБУ ДВЗ отримує дані про необхідну частоті обертання колінчастого вала двигуна і необхідний момент двигуна, які надходять від ЕБУ гібридної системи, і управляє системами ETCS-i, VVT-i і регулює обсяг вприскування палива і кут випередження запалювання.

ЕБУ ДВЗ передає інформацію про режим роботи двигуна в ЕБУ гібридної системи. При отриманні команди на зупинку двигуна від ЕБУ гібридної системи відповідно до базового алгоритмом управління гібридною системою блок ЕБУ ДВЗ зупиняє двигун.

На рисунку 3.13 зображено схему передачі інформації між блоком керування параметрами двигуна та ЕБУ гібридної системи

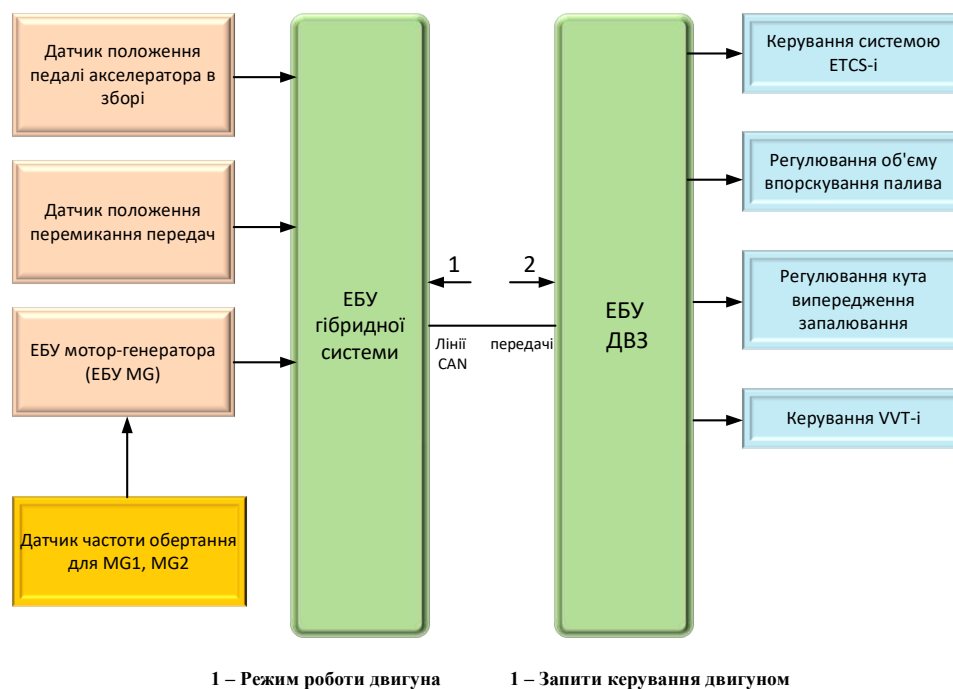


Рис. 3.13. Схема передачі інформації між блоком керування параметрами двигуна та ЕБУ гібридної системи

3.5.4. Загальне керування МГ1 і МГ2

Двигун-генератор МГ1 з приводом від двигуна генерує високу напругу, що пускає в хід МГ2 і забезпечує зарядку високовольтної акумуляторної батареї. Крім того, він виконує функції стартера під час пуску двигуна.

МГ2, що приводиться в рух електроенергією від МГ1, або високовольтної

аккумуляторної батареї, створює тягове зусилля для ведучих коліс. MG2 виробляє електроенергію високої напруги для зарядки високовольтної аккумуляторної батареї в процесі гальмування (координоване управління рекуперативним гальмом), а також коли педаль акселератора не натиснута (рекуперація енергії).

MG1 і MG2 вимикаються, коли важіль селектора перекладається в нейтральне положення (N). Щоб припинити подачу тягового зусилля, необхідно зупинити MG1 і MG2, так як вони механічно пов'язані з провідними колесами.

ЕБУ MG керує транзисторами з ізольованим затвором (IGBT) в інтелектуальному силовому модулі (ICM) відповідно до сигналів, що отримуються від ЕБУ гібридної системи. IGBT служать для перемикання фаз кожного мотор-генераторі.

3.5.5. Сигнали управління інвертором

Інвертор перетворює постійний струм від ВАБ в змінний струм для MG1 і MG2 і навпаки. Крім того, інвертор відбирає потужність, яку вироблено MG1, і подає її в MG2. При цьому перед подачею в MG2 електроенергія, що генерується MG1, спочатку перетвориться інвертором в енергію постійного струму, а потім - назад в енергію змінного струму. Це необхідно, оскільки частота змінного струму на виході MG1 не підходить для управління MG2.

ЕБУ MG управляє інтелектуальними силовими модулями для перемикання трифазного змінного струму MG1 і MG2 відповідно до сигналів від ЕБУ гібридної системи. Коли ЕБУ гібридної системи отримує від ЕБУ MG сигнал про перегрів, перевантаження по струму або короткому замиканні, ЕБУ гібридної системи передає в ЕБУ MG сигнал вимикання, щоб вимкнути модулі ICM.

3.5.6. Управління підвищуючим перетворювачем

Підвищуючий перетворювач підвищує номінальне постійна напруга високовольтної аккумуляторної батареї близько 240 В пост. струму до максимального напруження близько 650 В пост. струму відповідно досигналів, які надходять від ЕБУ гібридної системи через ЕБУ MG.

Інвертор перетворює змінний струм, що генерується MG1 або MG2, в постійний. Підвищуючий перетворювач включає підвищуючий ICM з вбудованими транзисторами IGBT, який управляє перемиканням, дросель, який зберігає електричну енергію і створює електрорушійну силу, а також конденсатор, який заряджається і розряджається підвищеною напругою.

Змінний струм, що генерується MG1 або MG2 для зарядки високовольтної акумуляторної батареї, перетворюється в постійний струм (з максимальним постійною напругою близько 650 В) інвертором. Потім підвищуючий перетворювач знижує напругу та переходить приблизно до 240 В постійного струму. Це здійснюється транзистором, який вмикається і вимикається керуючими імпульсами, який періодично перериває подачу електроенергії інвертором в дросель.

3.5.7. Керування головними реле системи

ЕБУ гібридної системи з'єднує і від'єднує ланцюг високої напруги від високовольтної акумуляторної батареї за допомогою головних реле системи. Крім того, ЕБУ гібридної системи використовує моменти вмикання/вимикання головних реле системи для контролю стану контактів реле. Щоб гарантувати належну роботу системи, використовуються 3 реле - 1 для позитивного боку (SMRB) і 2 для негативного боку (SMRP, SMRG).

Коли гібридна система переходить в стан готовності READY, ЕБУ гібридної системи послідовно включає SMRB і SMRP і подає струм через резистор попередньої зарядки. Потім він включає SMRG і подає струм в обхід резистора попередньої зарядки. Потім він вимикає SMRP. Так як в даній схемі керований струм спочатку може протікати через резистор попередньої зарядки, контактна точка ланцюга захищена від пошкодження в результаті стрибка струму.

Коли гібридна система переходить в стан, відмінний від стану готовності READY, ЕБУ гібридної системи спочатку вимикає SMRG. Потім він визначає, чи правильно працює SMRG, після чого вимикає SMRB. Далі він включає SMRP, перевіряє роботу SMRB і вимикає SMRP. В результаті ЕБУ гібридної системи

підтверджує належну вимикання відповідних реле.

3.5.8. Керування системою охолодження для перетворювача-інвертора

ЕБУ гібридної системи отримує сигнали від датчиків температури перетворювача-інвертора, MG1 і MG2. Потім ЕБУ гібридної системи призводить в дію насос системи охолодження інвертора з електродвигуном в зборі на одному з декількох рівнів керуючими імпульсами, забезпечуючи охолодження перетворювача-інвертора в зборі, MG1 і MG2.

Коли температура охолоджуючої рідини гібридної системи перевищує певний рівень, ЕБУ гібридної системи передає в ЕБУ ДВЗ команду включення вентилятора радіатора. Отримавши цей сигнал, ЕБУ ДВЗ пускає в хід вентилятор радіатора, обмежуючи підвищення температури охолоджуючої рідини гібридної системи і забезпечуючи охолодження перетворювача-інвертора в зборі, MG1 і MG2.

ЕБУ MG перетворює ці сигнали в цифрову форму і передає їх в ЕБУ гібридної системи по каналу послідовного зв'язку.

3.5.9. Керування системою охолодження для ВАБ

ЕБУ гібридної системи отримує сигнали від датчика температури високовольтної акумуляторної батареї. При цьому ЕБУ гібридної системи плавно регулює тривалість включення вентилятора системи охолодження ВАБ, підтримуючи її температуру в заданому діапазоні.

Блок контролю стану акумуляторної батареї (датчик напруги акумуляторної батареї) перетворює сигнали, що характеризують стан високовольтної акумуляторної батареї (напруга, струм і температуру), в цифрові сигнали і передає їх в ЕБУ гібридної системи по каналу послідовного зв'язку. Крім того, блок контролю стану акумуляторної батареї (датчик напруги акумуляторної батареї) формує сигнал зворотного зв'язку з інформацією про частоту обертання вентилятора, необхідний для управління системою охолодження, і передає його в ЕБУ гібридної системи.

3.5.10. Координоване управління рекуперативним гальмуванням

ЕБУ системи протиковзання розраховує загальне необхідну гальмівне зусилля, виходячи з тиску регулятора гальмівної системи і ходу педалі гальма, коли водій натискає педаль гальма. Після розрахунку загального необхідного гальмівного зусилля ЕБУ системи протиковзання передає запит рекуперативного гальмування в ЕБУ гібридної системи. У відповідь ЕБУ гібридної системи передає фактичне значення управління рекуперативним гальмом. ЕБУ гібридної системи використовує MG2 для створення негативного крутного моменту (зусилля уповільнення) і, забезпечує рекуперативне гальмування. ЕБУ системи протиковзання управляє електромагнітними клапанами блоку управління робочими циліндрами гальм і створює тиск в робочих гальмівних циліндрах. Створюваний тиск являє собою величину, яка залишається після вирахування поточного значення управління рекуперативним гальмуванням із загального необхідного гальмівного зусилля.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІБРИДНИМ АВТОМОБІЛЕМ КАТЕГОРІЇ М1

4.1. Перехід до векторно-матричних моделей

Легкові автомобілі, які рухаються по дорогам мають оснащуватися системами автоматичного керування швидкістю. В різних моделях коефіцієнт передачі двигуна варіюється в діапазоні від 10 до 1000. В даній магістерській кваліфікаційній роботі вибрано 20. Математична модель у вигляді передавальної функції, яка має вид:

$$W(S) = \frac{20}{s^2 + 3,5s + 7}$$

Так як у складі передавальної функції присутні комплексні корені $s_{1,2} = -1,75 \pm 1,9843j$, було виконано дослідження аналітичних методів переходу до моделей безперервних систем у методі просторі станів та моделей передавальних функцій цифрових систем.

Матричний метод. Матричний метод дає можливість зразу записати матриці **A**, **B**, **C**, **D** на основі коефіцієнтів диференційного рівняння [19]. Відповідно до методу вихідне диференційне рівняння має вид (4.1):

$$\sum_{i=0}^n a_i \cdot y^{(i)}(t) = \sum_{i=0}^n b_i \cdot u^{(i)}(t) \quad (4.1.)$$

Відповідні матриці **A**, **B**, **C**, **D** записано формулами (4.2-4.5), які мають вид:

$$\mathbf{A} = \frac{1}{a_n} \begin{bmatrix} -a_{n-1} & a_n & 0 & \dots & 0 \\ -a_{n-2} & 0 & a_n & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & a_n \\ -a_0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \quad (4.2.)$$

$$\mathbf{C} = \left[\frac{1}{a_n} \quad 0 \quad \dots \quad 0 \right], \quad (4.3.)$$

$$\mathbf{B} = \frac{1}{a_n} \begin{bmatrix} a_n b_{n-1} - a_{n-1} b_n \\ a_n b_{n-2} - a_{n-2} b_n \\ \vdots \\ a_n b_0 - a_0 b_n \end{bmatrix}, \quad (4.4.)$$

$$\mathbf{D} = \left[\frac{b_n}{a_n} \right], \quad (4.5.)$$

Відповідно до заданого перехідного процесу, виконано перехід до запису

динаміки системи через диференційне рівняння:

$$\ddot{y}(t) + 3,5\dot{y}(t) + 7y(t) = 20u(t)$$

Було виконано перетворення Лапласа від лівої і правої частин $f^{(n)}(t) \rightarrow s^n F(s)$, в результаті було отримано наступні вирази:

$$s^2 Y(s) + 3,5s Y(s) + 7Y(s) = 20U(s);$$

$$Y(s)(s^2 + 3,5s + 7) = U(s) \cdot 20;$$

$$A(s) = s^2 + 3,5s + 7, B(s) = 20.$$

Для розрахунку матриць **A**, **B**, **C**, **D** записано формули (4.2.-4.5.), які мають вид:

$$\mathbf{A} = \frac{1}{a_2} \begin{bmatrix} -a_1 & a_2 \\ -a_0 & 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{1} \begin{bmatrix} -3,5 & 1 \\ -7 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3,5 & 1 \\ -7 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \frac{1}{a_2} \begin{bmatrix} a_2 b_1 - a_1 b_2 \\ a_2 b_0 - a_0 b_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{1} \begin{bmatrix} 1 \cdot 0 - 3,5 \cdot 0 \\ 1 \cdot 20 - 7 \cdot 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 20 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{C} = [1 \quad 0];$$

$$\mathbf{D} = [0].$$

Діагональна та жорданова форма. Застосовано перетворення Лапласа для передавальної функції об'єкту керування, яка має вигляд:

$$s^2 Y(s) + 3,5s Y(s) + 7Y(s) = 20U(s)$$

$$W(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{20}{s^2 + 3,5s + 7}.$$

Було отримано корені рівняння $s^2 + 3,5s + 7 = 0$ за допомогою командного рядка MATLAB:

```
>> root([1 3.5 7])
```

```
ans =
```

```
-1,7500 + 1,9843i
```

```
-1,7500 - 1,9843i
```

Коренні рівняння дорівнюють: $s_{1,2} = -1,75 \pm 1,9843j$.

У рівнянні $s^2 + 3,5s + 7 = 0$ корені комплексні. Використовується блочно-діагональна форма, коли двом комплексно-спряженим кореням $s_{i,i+1} = a_i \pm j\beta_i$ відповідають блоки вигляду (4.6):

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_i & \beta_i \\ -\beta_i & a_i \end{bmatrix}, \quad (4.6.)$$

Матриця \mathbf{B} формується іншим чином. За формулою (4.7) розраховуються компоненти d_i виду:

$$d_i = \lim_{s \rightarrow s_i} (s - s_i) \frac{B(s)}{A(s)}, \quad (4.7.)$$

Для комплексно-спряжених пар коренів k , отримується стільки ж комплексно-спряжених пар значень коефіцієнтів d_i . Матриця \mathbf{B} формується не з комплексних чисел, а суми дійсної та уявної частин. Тобто, якщо за формулою (4.7) комплексно-спряжені корені $d_{1,2} = \gamma_1 \pm j\mu_1$, то за формулою (4.8):

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \gamma + \mu \\ \gamma - \mu \end{bmatrix}, \quad (4.8.)$$

Згідно формули (4.6), так як корені у знаменнику передавальної функції комплексні, матрицю \mathbf{A} має вигляд:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -1,75 & 1,9843 \\ -1,9843 & -1,75 \end{bmatrix}$$

За формулою (4.7) отримуються показники для визначення коефіцієнтів матриці \mathbf{B} :

$$d_1 = \lim_{s \rightarrow -1,75 + 1,9843j} (s + 1,75 - 1,9843j) \frac{20}{(s + 1,75 + 1,9843j)(s + 1,75 - 1,9843j)} = -5,03956j;$$

$$d_2 = \lim_{s \rightarrow -1,75 - 1,9843j} (s + 1,75 + 1,9843j) \frac{20}{(s + 1,75 + 1,9843j)(s + 1,75 - 1,9843j)} = 5,03956j;$$

За (4.7) $\gamma = 0$, $\mu = 5,03956$, тоді за формулою (4.8) матриця \mathbf{B} записується:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \gamma + \mu \\ \gamma - \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5,03956 \\ -5,03956 \end{bmatrix}.$$

Матриці $\mathbf{C} = [1 \quad 1]$, $\mathbf{D} = [0]$.

Дослідження розрахованих аналітично моделей з комплексними коренями та перевірка їх адекватності проводиться з використання пакету MATLAB/Simulink. Схема моделювання системи з методами простору станів представлена на рисунку 4.1.

Відповідно у блоці State-Space_1 записані матриці, що розраховано матричним методом, а блоці State-Space_2 записані матриці, що розраховано діагональною та жордановою формою.

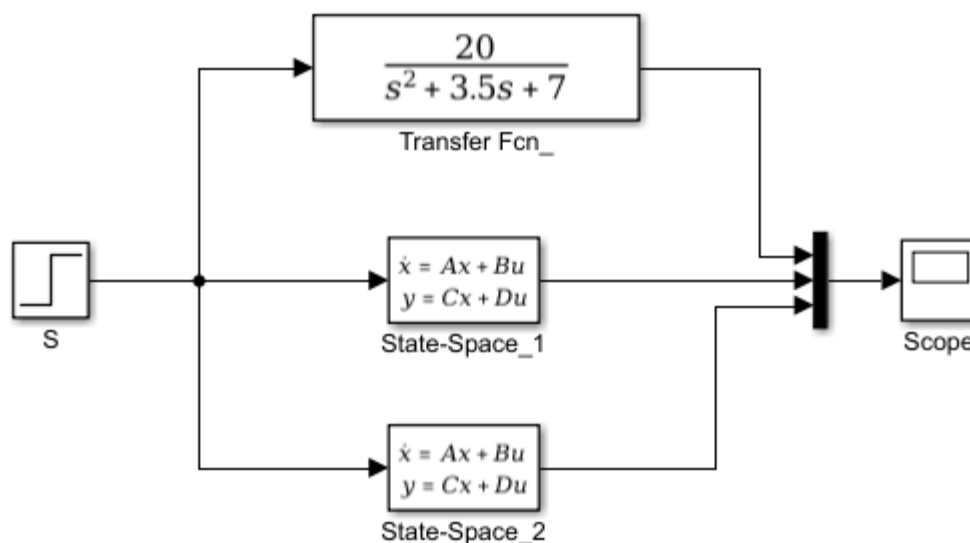


Рис. 4.1. Схема моделювання системи з методами переходу до простору станів

Параметри блоків State-Space_1 та State-Space_2 показано на рисунку 4.2.

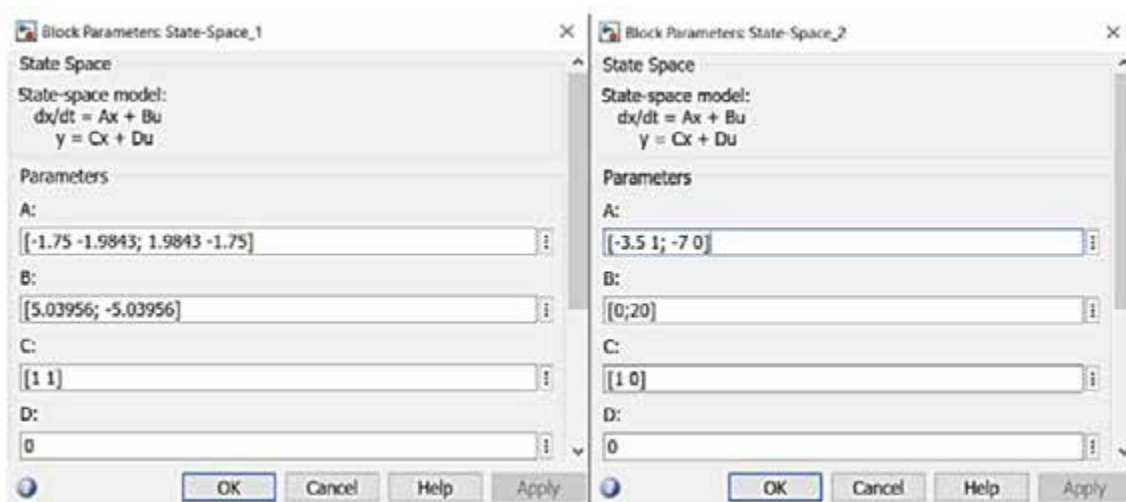


Рис. 4.2. Параметри блоків State-Space_1 та State-Space_2

Результати моделювання системи показано на рисунку 4.3. З графіку перехідного процесу можна зробити висновок, що методи переходу до векторно-матричних моделей показують однаковий результат моделювання.

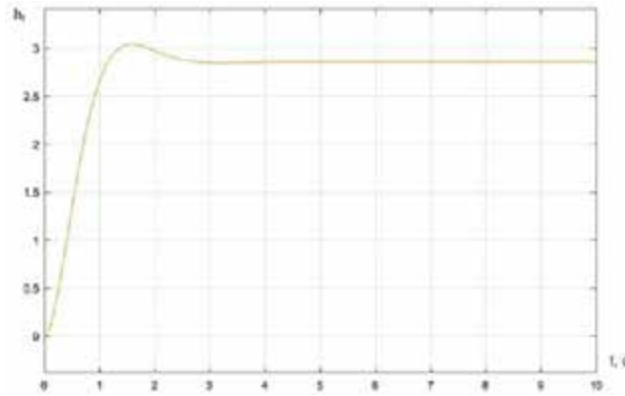


Рис. 4.3. Результати моделювання системи з методами переходу до простору станів

Показники якості перехідного процесу:

$$h_{max} = 3,036, h_{уст} = 2,858, t_{уст} = 4,5 \text{ с}, t_{ПП} = 3 \text{ с}, \sigma = 17,8\%.$$

4.2. Розроблення та дослідження аналітичних моделей цифрових систем керування

Для цифрових систем керування існує аналітичний метод переходу до моделі у вигляді передавальної функції цифрової системи (4.9):

$$W_{ПБЧ}(z) = \frac{z-1}{z} \cdot Z \left\{ \frac{W_{БЧ}(S)}{S} \right\}, \quad (4.9.)$$

Але слід відзначити, що виникає певна складність отримання аналітичного виразу цифрової передавальної функції з використанням z-перетворення [20]. Тому єдиний шлях спрощеного методу є використання командного рядка пакету MATLAB/Simulink:

```
>> W = tf([20], [1 3.5 7])
```

```
W = 20
```

```
-----
```

```
s^2 + 3,5s + 7
```

```
Continuous – time transfer function.
```

```
>> T = 0,1
```

```
T = 0.1000
```

```
>> W2 = c2d(W, T)
```

```
W2 = 0.08878z + 0,07899
```

$$z^2 - 1,646z + 0,7047$$

Sample time: 0,1 second

Для перевірки адекватності цифрових моделей системи керування гібридним автомобілем, розроблено схему моделювання системи керування гібридним автомобілем (Рисунок 4.4) та отримано відповідний перехідний процес цифрової системи (Рисунок 4.5).

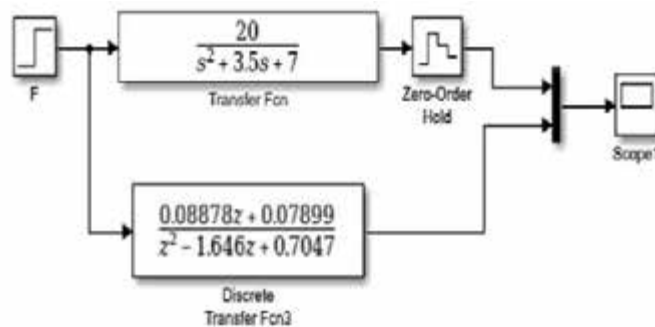


Рис. 4.4. Схема цифрової моделі системи керування гібридним автомобілем

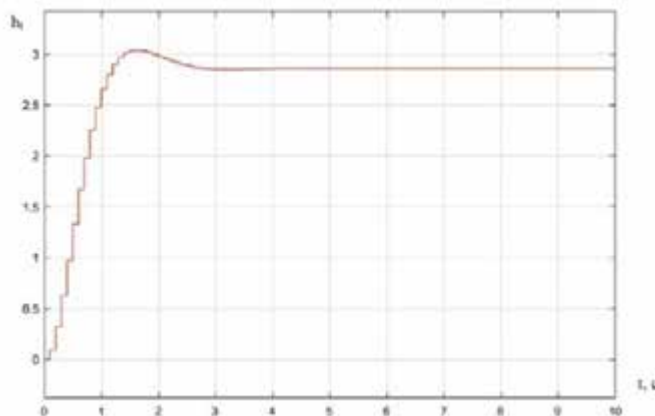


Рис. 4.5. Перехідний процес цифрової системи

4.3. Синтез цифрової системи зі зворотнім зв'язком за станом

Як відомо, якість систем керування визначається показниками якості перехідного процесу та помилки в установленому. За графіком перехідного процесу представленого на рисунку 4.6 визначено показники якості:

- час перехідного процесу;
- перерегулювання;
- помилка.

Так як у системі присутня помилка і бажане скорочення часу перехідного процесу, тому розглянемо питання синтезу цифрової системи керування:

$$W(s) = \frac{20}{s^2 + 3,5s + 7}$$

Векторно-матрична модель було отримано з використанням командного рядка MATLAB. У командному рядку записано рівняння перехідного процесу:

```
>> W = tf([20],[1 3.5 7])
```

```
W = 20
```

```
-----
```

```
s^2 + 3,5s + 7
```

Continuous – time transfer function.

Далі записано час дисктеризації

```
>> T = 0,1
```

```
T = 0.1000
```

За допомогою команди `c2d` здійснено перехід до цифрової системи

```
>> W2 = c2d(W,T)
```

```
W2 = 0.08878z+0,07899
```

```
-----
```

```
z^2 – 1,646z + 0,7047
```

Sample time: 0,1 second

Discrete-time transfer function.

Векторно-матричну модель об'єкта керування обчислюється за допомогою команди `ss` командного рядка MATLAB.

```
>> ss(W2)
```

```
ans =
```

```
A =
```

```
      x1      x2
```

```
x1      1,646   -0,7047
```

```
x2      1        0
```

```
B =
```

$$\begin{array}{l}
 u1 \\
 x1 \quad 0,5 \\
 x2 \quad 0 \\
 C = \\
 \begin{array}{cc}
 x1 & x2 \\
 y1 & 0,1776 \quad 0,158 \\
 D = \\
 u1 \\
 y1 \quad 0
 \end{array}
 \end{array}$$

Отже матриці A, B, C, D :

$$A = \begin{bmatrix} 1,646 & -0,7047 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0,5 \\ 0 \end{bmatrix}; C = [0,1776 \quad 0,158]; D = 0.$$

На рисунку 4.6. представлено схему моделі системи управління з приєднаним блоком Check Step Response Characteristics для знаходження бажаних коренів характеристичного поліному.

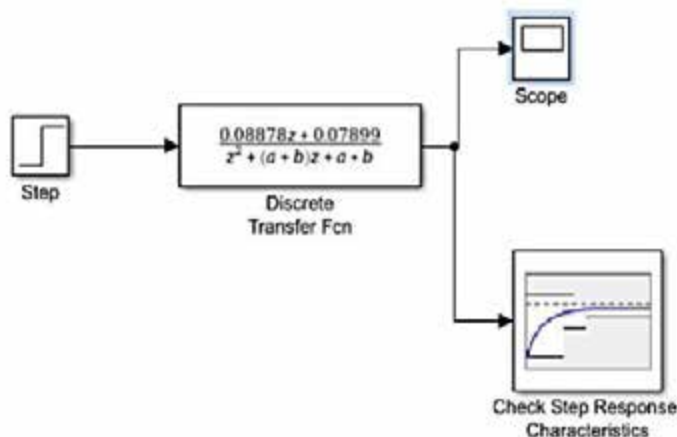


Рис. 4.6. Схема моделі системи управління для визначення бажаних коренів характеристичного рівняння

В блоці Check Step Response Characteristics в якості параметрів для налаштування додано a та b (Рис. 4.7.), а також вказано бажаний діапазон перехідного процесу.

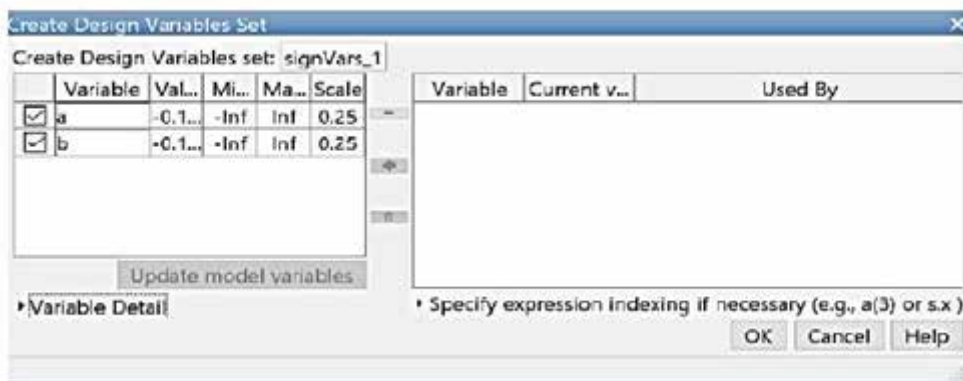


Рис. 4.7. Вибір змінних оптимізації

В результаті оптимізацію було отримано бажаний перехідний процес (рис. 4.8.).

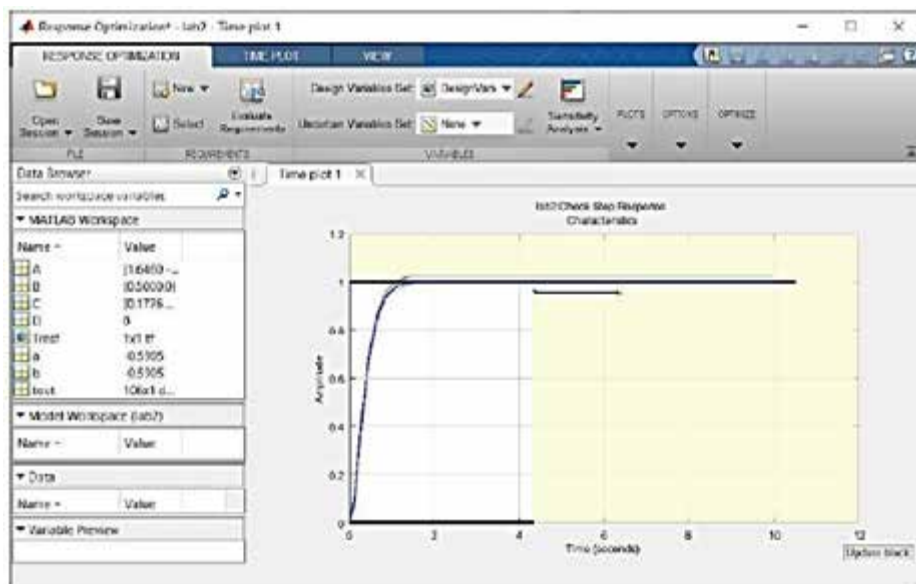


Рис. 4.8. Бажаний перехідний процес

В результаті отримано:

$$a = -0,5905;$$

$$b = -0,5905.$$

Тобто бажаний характеристичний поліном матиме наступний вигляд:

$$D_B(z) = z^2 - 1,181z + 0,3487$$

$$\begin{aligned} |zE - A + B \cdot K| &= \begin{vmatrix} z & 0 \\ 0 & z \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} 1,646 & -0,7074 \\ 1 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0,5 \\ 0 \end{vmatrix} |k_1 \quad k_2| = \\ &= \begin{vmatrix} z - 1,646 & 0,7074 \\ -1 & z \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0,5k_1 & 0,5k_2 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} z - 1,646 + 0,5k_1 & 0,7074 + 0,5k_2 \\ -1 & z \end{vmatrix} = \end{aligned}$$

$$= z^2 + (0,5k_1 - 1,646)z + 0,7047 + 0,5k_2$$

Прирівняно відповідні коефіцієнти:

$$\begin{cases} 0,5k_1 - 1,646 = -1,181 \\ 0,7047 + 0,5k_2 = 0,3487 \end{cases}$$

$$\begin{cases} k_1 = 0,93 \\ k_2 = -0,712 \end{cases}$$

Тоді матриця зворонього зв'язку дорівнює:

$$K = [0,93 \quad -0,712]$$

На рис. 4.9. зображено схему цифрової системи зі зворотнім зв'язком, а на рис. 4.10. перехідний процес відрегульованої системи:

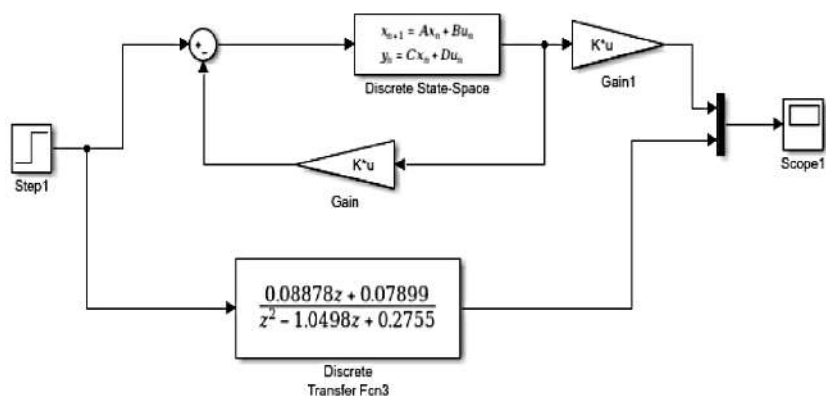


Рис. 4.10. Схема цифрової системи зі зворотнім зв'язком

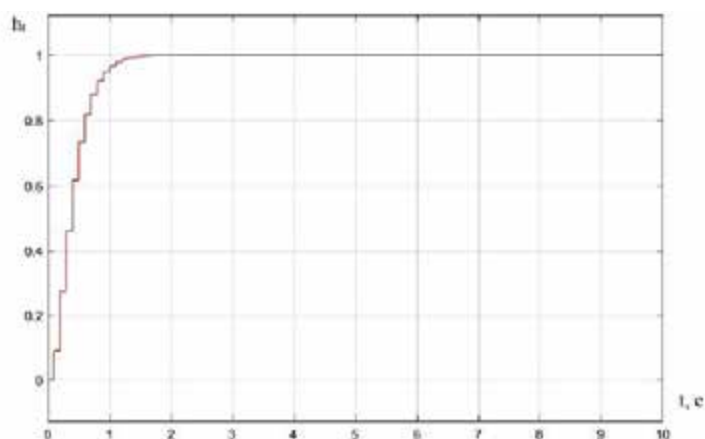


Рис. 4.11. Перехідний процес відрегульованої системи

Виконавши аналіз отриманого графіка перехідного процесу, можна зробити висновки, що отримані бажані показники якості цифрової системи, а саме нульова установлена похибка, нульове перерегулювання, та час регулювання $t_{\text{пп}} = 2 \text{ с}$.

Для порівняння результатів синтезу та обрання кращого варіанту виконаємо синтез цифрового ПД-регулятора для керування швидкістю гібридного автомобіля.

4.4. Розрахунок коефіцієнтів ПД-регулятора

Як відомо ПД – регулятором називається пристрій, який застосовується в контурах управління. Дані регулятори використовують для формування сигналів управління в автоматичних системах, де необхідно досягти високих вимог до якості та точності перехідних процесів. Управляючий сигнал ПД- регулятора виходить в результаті складання трьох складових: перша пропорціональна величині сигналу неузгодженості, друга - інтегралу сигналу неузгодженості, третя - його похідній. Якщо будь-який з цих трьох компонентів не включений в процес складання, то регулятор буде вже не ПД, а просто пропорціональним, пропорційно - диференційованим або пропорційно-інтегруючим [16].

Розрахунок коефіцієнтів ПД-регулятора виконується за методом компенсації нулями ПД-регулятора полюсів передавального процесу. Передавальна функція приведеної безперервної частини:

$$W_{\text{ПВЧ}}(z) = \frac{0,08878z+0,07899}{z^2-1,646z+0,7047}, \text{ де } T = 0,1\text{с} - \text{період дискретизації.}$$

Інтегральна складова K_i визначається за формулою (4.10.):

$$K_v = \frac{1}{T_0} \cdot \lim_{z \rightarrow 1} (z - 1) W_{\text{СК}}(z) = K_i \cdot W_{\text{ПВЧ}}(z \rightarrow 1). \quad (4.10.)$$

$$K_v = K_i \cdot \frac{0,1678}{0,0587} = K_i \cdot 2,85809199.$$

Коефіцієнт помилки за швидкістю K_v обирається довільно. Нехай $K_v = 1$, тоді K_i дорівнюватиме 0,3498837694. Розв'язок системи рівнянь для знаходження коефіцієнтів K_d та K_p має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{K_i T_0^2 - 2K_p T_0 - 4K_d}{K_i T_0^2 + 2K_d + 2K_p T_0} = -1,646, \\ \frac{2K_d}{K_i T_0^2 + 2K_d + 2K_p T_0} = 0,7047, \end{cases};$$

$$\begin{cases} K_i T_0^2 - 2K_p T_0 - 4K_d = -1,646(K_i T_0^2 + 2K_d + 2K_p T_0), \\ 2K_d = 0,7074(K_i T_0^2 + 2K_d + 2K_p T_0), \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0,0034988377 - 0,2K_p - 4K_d = -0,0005759087 - 3,292K_d - 0,3292K_p, \\ 0,2953K_d = 0,0012328155 + 0,07047K_p, \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0,0040747464 - 0,708 \cdot (0,00417479 + 0,2386386725K_p) = 0, \\ K_d = 0,00417479 + 0,2386386725K_p, \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0,0040747464 - 0,1292K_p - 0,0029557513 - 0,1689561801K_p = 0, \\ K_d = 0,00417479 + 0,2386386725K_p, \end{cases}$$

$$\begin{cases} -0,0397561801K_p = -0,0011189951, \\ K_d = 0,00417479 + 0,2386386725K_p, \end{cases}$$

$$\begin{cases} K_p = 0,0281464441 \\ K_d = 0,0083 + 0,23864 \cdot 0,0281464441 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} K_p = 0,0281464441 \\ K_p = 0,0108916201 \end{cases}$$

$$K_p = 0,0281464441;$$

$$K_d = 0,0108916201$$

За наступними виразами отримуються значення ПД-регулятора:

$$\frac{T_0 K_i}{2} = \frac{0,1 \cdot 0,3498837694}{2} = 0,0174941885;$$

$$\frac{K_d}{T_0} = \frac{0,0108916201}{0,1} = 0,108916201.$$

Результати розрахованого ПД-регулятора показано на схемі у Simulink (Рис. 4.12.) і порівняно вірність розрахунків ПД-регулятора завдяки порівнянню якостей перехідної характеристики без регулятора та з ним (Рис. 4.13.).

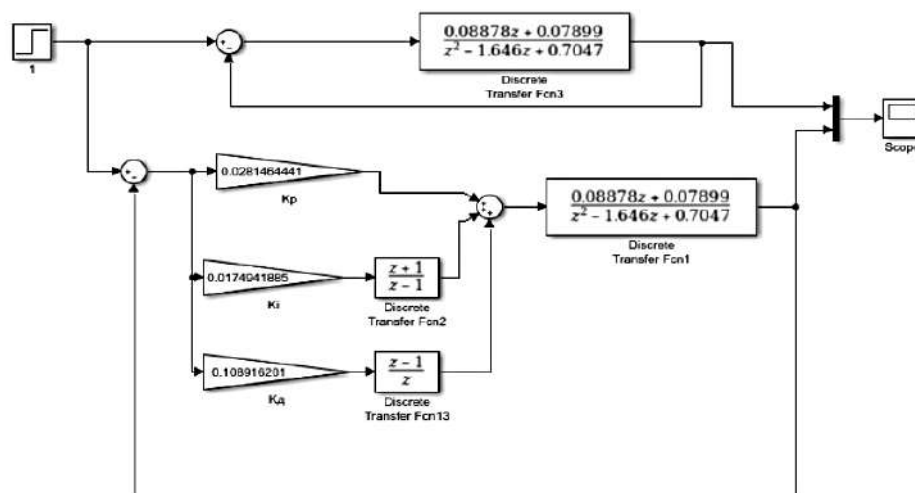


Рис. 4.12. Модель цифрової системи з ПД-регулятором та без нього

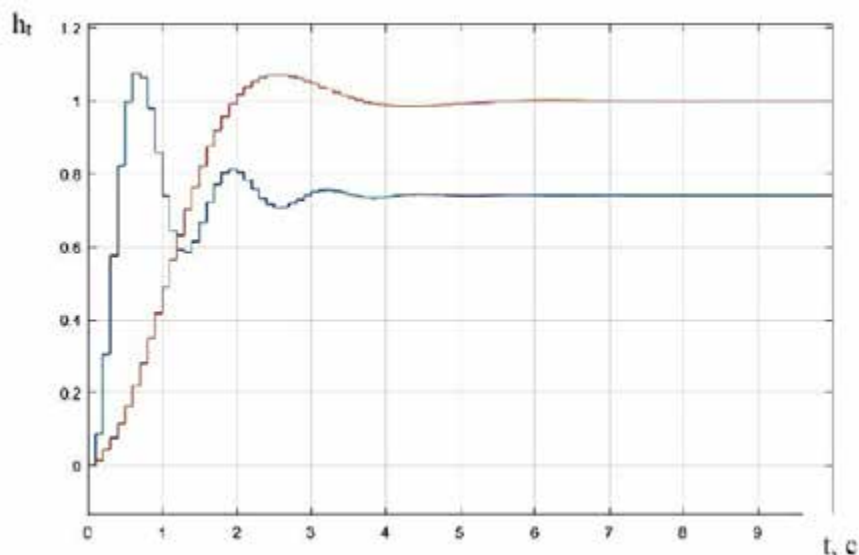


Рис. 4.13. Перехідні характеристики цифрової системи з ПІД-регулятором і без нього при $K_v = 1$

Показники якості перехідного процесу без регулювання:

$$h_{max} = 1,078, h_{уст} = 0,7303, t_{уст} = 6 \text{ с}, t_{ПП} = 4 \text{ с}, \sigma = 34,77\%.$$

Показники якості перехідного процесу з регулюванням:

$$h_{max} = 1,072, h_{уст} = 1, t_{уст} = 4 \text{ с}, t_{ПП} = 3,5 \text{ с}, \sigma = 7,2\%.$$

Для того, щоб побачити, як зміняться показники якості перехідного процесу, було змінено коефіцієнт K_v . Нехай $K_v = 2$. Інтегральна складова K_i знаходиться за формулою (4.11):

$$K_v = K_i \cdot \frac{0,1678}{0,0587} = K_i \cdot 2,85809199.$$

$$K_i = \frac{K_v}{2,85809199} = \frac{2}{2,85809199} = 0,699767539.$$

Розв'язок системи рівнянь для знаходження коефіцієнтів K_D та K_P має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{K_i T_0^2 - 2K_P T_0 - 4K_D}{K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0} = -1,646, \\ \frac{2K_D}{K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0} = 0,7047, \end{cases};$$

$$\begin{cases} K_i T_0^2 - 2K_P T_0 - 4K_D = -1,646(K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0), \\ 2K_D = 0,7074(K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0), \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0,69976767539 \cdot 0,01 - 0,2K_p - 4K_d = -0,011518173 - 3,292K_d - 0,3292K_p, \\ K_d = 0,35235 \cdot 0,69976767539 \cdot 0,01 + 0,07047K_p + 0,7074 \cdot 0,1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0,00699767675 + 0,1292K_p - 0,708(0,008349576 + 0,238638672K_p) = -0,11518173 \\ K_d = 0,00246563 + 0,07047K_p + 0,7074K_d \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0,1292K_p - 0,0059111499 - 0,168956179K_p = 0, \\ K_d = 0,008349576 + 0,238638672K_p, \end{cases}$$

$$\begin{cases} -0,039756179K_p = -0,018515848, \\ K_d = 0,008349576 + 0,238638672K_p, \end{cases}$$

$$\begin{cases} K_p = 0,465735099 \\ K_d = 0,008349576 + 0,238638672 \cdot 0,465735099 \end{cases}$$

$$K_p = 0,465735099;$$

$$K_d = 0,119491981$$

За наступними виразами отримуються значення ПІД-регулятора:

$$\frac{T_0 K_i}{2} = \frac{0,1 \cdot 0,699767539}{2} = 0,034988376;$$

$$\frac{K_d}{T_0} = \frac{0,119491981}{0,1} = 0,011949198.$$

Результати розрахованого ПІД-регулятора показано на схемі у Simulink (Рис. 4.14.) і порівняно вірність розрахунків ПІД-регулятора завдяки порівнянню якостей перехідної характеристики без регулятора та з ним (Рис. 4.15.).

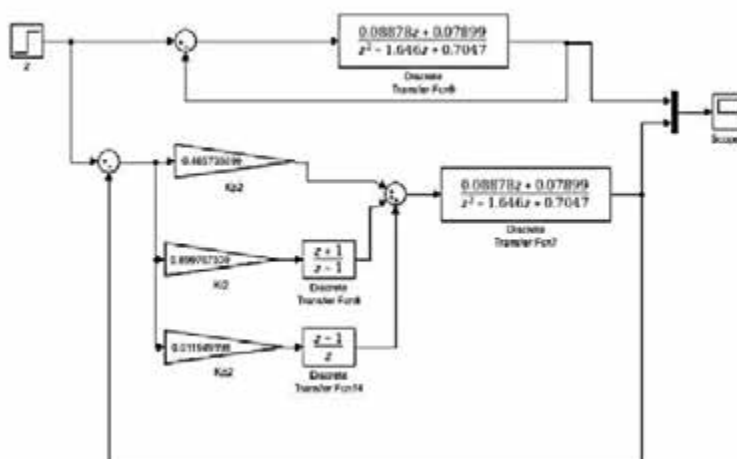


Рис. 4.14. Модель цифрової системи з ПІД-регулятором та без нього при

$$K_v = 2$$

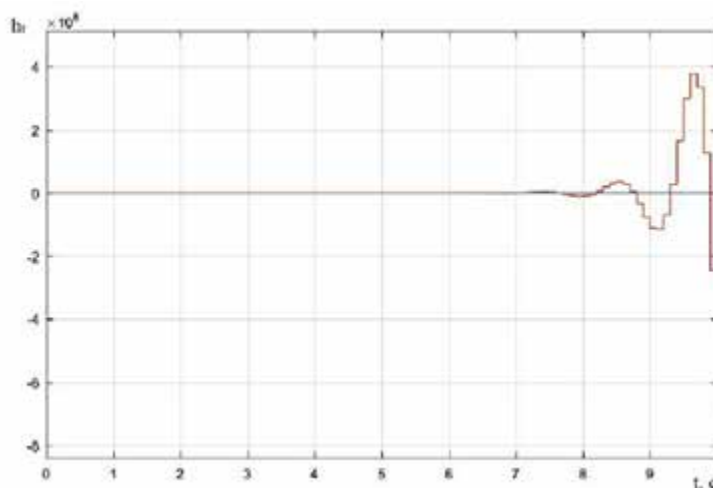


Рис. 4.15. Перехідні характеристики цифрової системи з ПІД-регулятором і без нього при $K_v = 2$

Змінимо коефіцієнт K_v для того, щоб поглянути, як зміняться показники якості перехідного процесу. Нехай $K_v = 0,5$. Інтегральну складову K_i обчислюється за формулою (4.11):

$$K_v = K_i \cdot \frac{0,1678}{0,0587} = K_i \cdot 2,85809199.$$

Тоді K_i дорівнюватиме:

$$K_i = \frac{K_v}{2,85809199} = \frac{0,5}{2,85809199} = 0,174941884.$$

Розв'язок системи рівнянь для знаходження коефіцієнтів K_D та K_P має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{K_i T_0^2 - 2K_P T_0 - 4K_D}{K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0} = -1,646, \\ \frac{2K_D}{K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0} = 0,7047, \end{cases};$$

$$\begin{cases} K_i T_0^2 - 2K_P T_0 - 4K_D = -1,646(K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0), \\ 2K_D = 0,7074(K_i T_0^2 + 2K_D + 2K_P T_0), \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0,001749419 - 0,2K_P - 4K_D = -0,002879543 - 3,292K_D - 0,3292K_P, \\ K_D = 0,35235 \cdot 0,001749419 + 0,7047K_D + 0,7074 \cdot 0,1K_P \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0,1292K_P - 0,708(0,002087392 + 0,238638672K_P) = -0,004628962 \\ K_D = 0,00246563 + 0,07047K_P + 0,7074K_D \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0,1292K_P - 0,001477873 - 0,168956179K_P = -0,004628962, \\ K_D = 0,002087392 + 0,238638672K_P, \end{cases}$$

$$\begin{cases} -0,039756179K_p = -0,003151089, \\ K_D = 0,002087392 + 0,238638672K_p, \end{cases}$$

$$\begin{cases} K_p = 0,079260358 \\ K_D = 0,002087392 + 0,238638672 \cdot 0,079260358 \end{cases}$$

$$K_p = 0,079260358;$$

$$K_D = 0,021001978$$

За наступними виразами отримуються значення ПД-регулятора:

$$\frac{T_0 K_i}{2} = \frac{0,1 \cdot 0,174941884}{2} = 0,008747094;$$

$$\frac{K_D}{T_0} = \frac{0,021001978}{0,1} = 0,021001978.$$

На рис. 4.16. показана схема цифрової системи з ПД регулятором, а на рис. 4.17. показано графік перехідних характеристик системи з ПД регулятором та без нього.

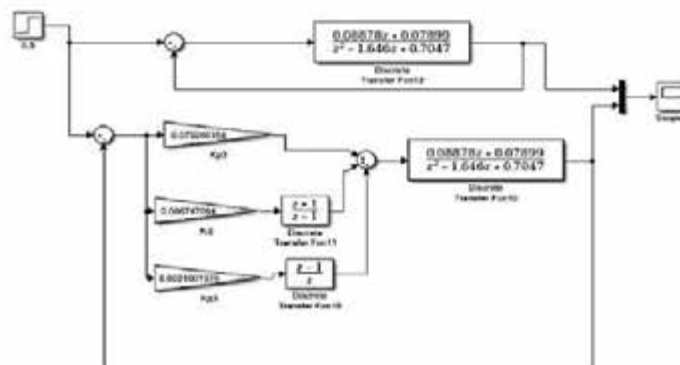


Рис. 4.16. Схема цифрової системи з ПД-регулятором та без нього при $K_p = 0,5$

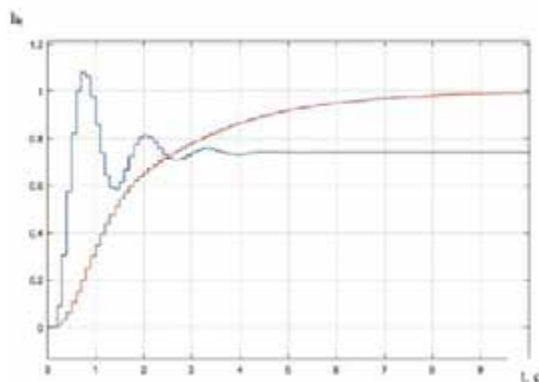


Рис. 4.17. Перехідні характеристики цифрової системи з ПД-регулятором і без нього при $K_p = 0,5$

Показники якості перехідного процесу без регулювання:

$$h_{max} = 1,078, h_{уст} = 0,754, t_{уст} = 6 \text{ с}, t_{ПП} = 4,5 \text{ с}, \sigma = 42,97\%.$$

Показники якості перехідного процесу з регулюванням:

$$h_{max} = 0,998, h_{уст} = 0,998, t_{уст} = 9 \text{ с}, t_{ПП} = 7,5 \text{ с}, \sigma = 0\%.$$

Отже можна зробити висновки при розрахунках коефіцієнтів ПД-регулятора, найкращі показники якості виявилися при коефіцієнті $K_v = 1$, тобто в першому випадку при $t_{ПП} = 3,5$, але показники якості гірші ніж при синтезу системи на базі зворотніх зв'язків.

Таким чином для розроблення цифрової системи керування обрано цифровий регулятор на базі зворотних зв'язків за станом який забезпечує нульове перерегулювання, нульову помилку та час регулювання 2 секунди.

РОЗДІЛ 5 АНАЛІЗ СТРУКТУРНИХ СХЕМ І ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛІВ КАТЕГОРІЇ М1

Суттєвим нововведенням світу гібридних технологій є злиття позитивних атрибутів дизельної силової системи з електричною з метою створення лінійки автомобілів з більш широким потенціалом пробігу. Хоча до цих пір великі автовиробники не особливо впроваджують дану технологію в світ легкового автомобільного транспорту, дана комбінація вже більше десяти років широко використовується при випуску пасажирських і залізничних локомотивів.

Пройшло більше 100 років і проблема створення гібридних автомобілів була реалізована на новому витку розвитку автомобілів. Це дозволило зробити:

- використання нової силової електроніки;
- використання нового типу АКБ;
- використання нових вентильних електричних двигунів;
- використання сучасних комп'ютерних технологій і програмного забезпечення.

Єдиної концепції створення гібридних автомобілів у світі немає. Кожен виробник гібридних автомобілів має свою думку щодо конструкції ГСУ для нього. Усі конструктивні рішення можна умовно поділити на чотири принципові структурні схеми [2].

I. Побудова ГСУ заснована на використанні електричної машини невеликої потужності (від 2 до 4 кВт), що виконує функції стартера- генератора (рис. 1). Такі автомобілі комплектуються системою Stop/Start, яка автоматично вимикає ДВЗ при зупинці, а при гальмуванні або русі за інерцією, використовуючи рекуперацію кінетичної енергії автомобіля, забезпечує заряд АКБ. Ключовий компонент ГСУ - "розумний" генератор. Йдеться про систему Stop/Start. Зустрічається на таких автомобілях як Mini Cooper, BMW-1 Mazda 6, Range Rover Evoque, A-6 - A8. У цьому випадку використовується більш потужніша тягова АКБ.

До основних вузлів гібридної системи відносяться двигун внутрішнього

згоряння, гібридна трансмісія в блоці з головною передачею, перетворювач-інвертор і високовольтна акумуляторна батарея.

Система включає дві акумуляторні батареї, які виконують різні функції. Одна представляє собою високовольтну акумуляторну батарею, яка акумулює енергію для приводу автомобіля, а інша - допоміжну акумуляторну батарею (з номінальним постійною напругою 12В), яка забезпечує живлення електрообладнання.

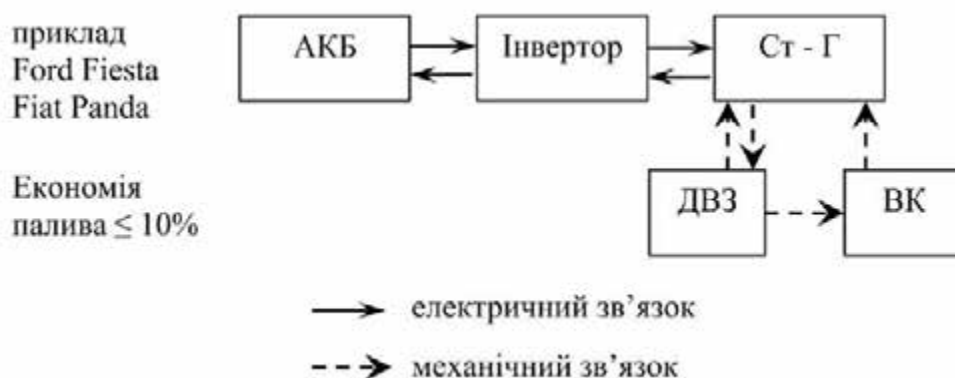


Рис. 5.1. Гібридний автомобіль з електричною машиною невеликої потужності (від 2 до 4 кВт)

II. У другій структурній схемі ГСУ використовує електричний двигун (≤ 25 кВт., рис. 5.2.), що генерує механічну енергію паралельно з ДВЗ, тому потужності складаються. Вона ефективніша при старті та інтенсивному русі. Така схема (електромашина) замінює стартер-генераторі дозволяє працювати в режимі Stop/Start.

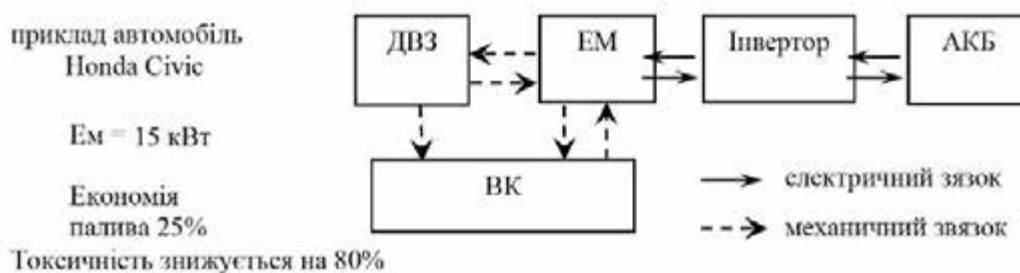


Рис. 5.2. Гібридний автомобіль з електричною машиною потужністю до 25 кВт

III. Принцип побудови ДСУ заснований на застосуванні електричного двигуна потужністю від 30 кВт (рис. 5.3.). Автомобіль може працювати у комбінованих режимах: тільки ДВЗ; тільки на електричному двигуні; ДВЗ+

електричний двигун. Комплектуються 1, 2 або 4 вентильними електричними двигунами. Розподіл енергії здійснюється планетарним механізмом чи електричним шляхом. Узгодження режимів роботи здійснюється комп'ютером та інвертором.

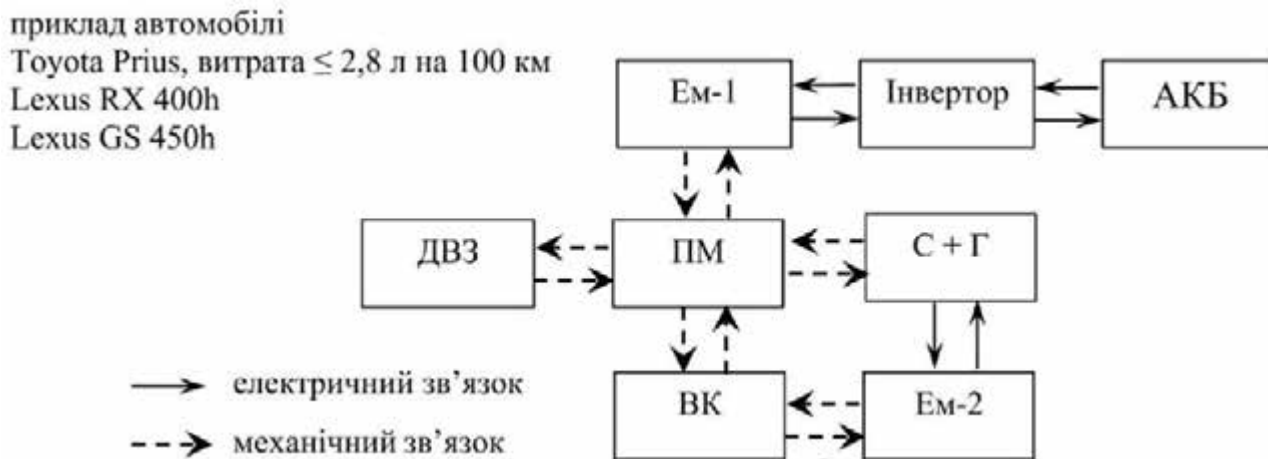


Рис. 5.3. Гібридний автомобіль з електричною машиною великої потужності (від 25 кВт)

IV. ДВЗ не має кінематичного зв'язку з ведучими колесами (рис. 5.4.). Механічна енергія з ДВЗ через генератор перетворюється на електричну енергію, яка надходить у тяговий електромеханічний привід ведучих коліс автомобіля.

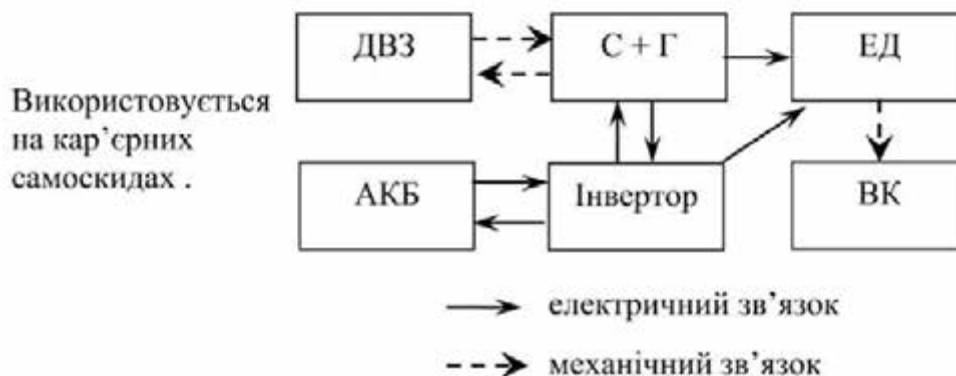


Рис. 5.4. Гібридний автомобіль з ДВЗ, що не має кінематичного зв'язку з ведучими колесами

Класифікація трансмісій будується за такими структурними принципами [3]:

➤ послідовна схема - ДВЗ не має кінематичного зв'язку з ведучими колесами автомобіля. Вона представляє ланцюжок: ДВЗ - електричний генератор і тяговий електродвигун. При цьому ДВЗ настраюється на екологічний режим

роботи. Перевагами є відсутність механічної трансмісії, зниження витрати палива і токсичних компонентів у відпрацьованих газах ДВЗ. Недоліком є зменшення ефективності ККД черезподвійне перетворення енергії;

➤ паралельна схема - у разі ДВЗ і електричний двигун, який отримує енергію від АКБ, передають крутний момент ведучим колесам. Перевагами є спрощення трансмісії та вищий ККД у порівнянні з послідовною схемою. Можливий варіант паралельної схеми, при якому оборотна електромашинна встановлюється у приводі ведучого мосту автомобіля. Недоліком є ускладнення електричної трансмісії длярекуперації енергії;

➤ послідовно - паралельна схема (автомобілі Toyota) - ця схема поєднує послідовну та паралельну системи з метою отримання максимальних переваг обох схем. Залежно від умов експлуатації працює у режимах: електричний двигун, ДВЗ, електричний двигун + ДВС. Така схема забезпечує рекуперацію енергії в АКБ. Регулюючий пристрій механічної енергії є планетарний механізм. Автомобілі комплектуються, як правило, двома електромашин вентильного типу.

Зазвичай гібридні автомобілі працюють на бензині і електриці, або газовому паливі і електриці, але зустрічаються і такі версії гібридів, електрику для батарей яких виробляється спеціальною установкою на паливних осередках в процесі хімічної реакції між воднем і киснем. Переваги гібридних автомобілів далеко виходять за рамки звичайної економії бензинового палива:

➤ екологічність. Гібридні автомобілі менше забруднюють атмосферу шкідливими речовинами, ніж звичайні автомобілі з ДВЗ. Міністерство енергетики США повідомило, що в середньому гібридний автомобіль використовує на третину менше бензину, ніж стандартний ДВЗ. Зменшення споживання пального позитивно відображається на стані повітря, покращує екологічну обстановку. Застосування ж акумуляторів значно меншої ємності, ніж в електромобілях, в значній мірі спрощує вирішення проблеми переробки старих батарей. Як згадувалося раніше, гібридні автомобілі також у своїй роботі часто використовують поєднання таких екологічно чистих джерел енергії, як електрика і водогін, тобто повністю виключають експлуатацію згубного для екології

бензинового палива;

➤ збільшений пробіг, швидка заправка. Гібридні автомобілі можуть проїжджати значно більше своїх бензинових і повністю електричних родичів за рахунок вдалого поєднання роботи двох типів моторів: ДВЗ і електричного двигуна. Як правило, бензин використовується в гібридах лише з метою додаткового енергетичної живлення акумуляторів, полегшення старту автомобіля і збільшення швидкості пересування. На невеликих швидкостях основну роботу виконують електродвигуни, однак, коли автомобіль набирає швидкість, бензинові двигуни беруть на себе частину зусиль, що докладаються. На відміну від електромобілів, гібридам не потрібно простоювати довгі години на заправних станціях, відбираючи людині дорогоцінний час;

зниження витрат на паливо і технічне обслуговування. Невеликі експлуатаційні витрати є одним з основних переваг автомобільного транспорту гібридного приводу. Подорожуючи на транспортному засобі, яким не завжди потрібно пальне паливо для запуску, можна істотно заощадити. Гібридні автомобілі вимагають менше обслуговування, хоча б тому, що їх рухова установка значно менше піддаються зносу. Більш того, більшість компонентів гібридних автомобілів не вимагають регулярного технічного обслуговування;

➤ можливість повторного використання енергії. В гібридних автомобілях, так само як і електричних, передбачена можливість збереження частини енергії, що утворюється при гальмуванні, і її повторного використання. В якості накопичувачів енергії в гібридних автомобілях застосовуються акумуляторні батареї або ж спеціальні конденсатори;

➤ відмінна продуктивність. Гібридний автомобіль працюють з тим же рівнем продуктивності, що і будь-який інший автомобіль, більш того, на крутих підйомах і при русі на високих швидкостях від них можна очікувати ще більшої ефективності роботи. Як показує статистика, більшість людей, яким основну частину своєї водійської практики доводилося їздити на бензинових автомобільних моделях, не помічають практично ніякої різниці в ефективності експлуатації цих двох типів автомобілів. Гібридні автомобілі користуються

широкою популярністю не тільки серед громадськості, але і вводяться в експлуатацію поліцією і правоохоронними органами.

Недоліки гібридних автомобілів:

➤ кількість гібридних автомобілів на дорогах стає більше через притаманності їм цілого ряду переваг над виключно електричними або бензиновими моделями, проте, як і у будь-який вид транспорту, автомобілі гібридної технології не позбавлені недоліків;

➤ зниження продуктивності. Гібридна система приводу часто піддається критиці з боку водіїв: акумуляторні батареї, що є невід'ємною частиною трансмісії, як правило, знижують ємність при мінусових температурах. Експлуатація акумуляторів в холодну пору року суттєвоскорочує їм життя. З цієї причини любителі поїздити на автомобілі по сніжних заметах не завжди зупиняють свій вибір на гібридах. Крім того, додавання зайвої ваги автомобілю громіздкими батареями, не завжди сприятливо відображається на їх маневреності;

➤ висока вартість. Гібриди стоять приблизно на 20% дорожче автомобілів тих же марок і моделей бензинового або виключно тільки одного електричного приводу. Подібна розбіжність у вартості пояснюється використанням більш дорогих у виготовленні і збірці компонентів трансмісії. Хоч, по правді кажучи, дещо вищі витрати швидко окупаються економією грошей на заправку і обслуговування - дані момент не підлягає оскарженню;

➤ труднощі з технічним обслуговуванням і пошуком нових комплектуючих. Частини гібридного приводу автомобілів зазвичай є більш дорогими і ексклюзивними, ніж у інших транспортних засобів. Крім того, через деякій новизни цих засобів пересування, в наш час досить складно знайти справжнього фахівця-механіка, який зміг би зайнятися обслуговуванням гібридів. Станції технічного обслуговування гібридних автомобілів почали будуватися в європейських країнах лише недавно, виходячи з чого, говорити про розвиток подібної системи в Україні поки що навіть не доводиться;

➤ гібридні автомобілі, так же як електричні, при роботі в електричному режимі працюють практично безшумно, тому можуть бути вчасно не почуті

пішоходами.

Таку компоновку мають усі гібридні автомобілі компанії Toyota і декілька інших виробників.

Крім того в гібридній системі використовується система регулювання напруги, що включає в себе високовольтну акумуляторну батарею, а також інвертор, який перетворює постійний струм в змінний.

Оскільки автомобілі з гібридним приводом не обладнуються звичайним генератором, висока напруга високовольтної акумуляторної батареї знижується приблизно до 14 В за допомогою підвищуючого перетворювача постійного струму, щоб забезпечити зарядку допоміжної акумуляторної батареї. Крім того, високовольтна акумуляторна батарея регулярно заряджається і розряджається в межах діапазону постійного заряду (SOC) під час руху автомобіля. Тому підзарядка від зовнішніх джерел не потрібно.

Відповідно, щоб підвищити ефективність експлуатації автомобілів за допомогою гібридних методів необхідно розробити структурну схему, в якій було б показано за допомогою яких механізмів та систем буде реалізовано додаткове джерело енергії та як між собою взаємодіють комплектуючі гібридної системи.

Висновки. Виконане порівняння автомобілів виробництва компанії Toyota Lexus RX 400h та Lexus RX 330 по повній масі. З одного боку у Lexus RX 400h зникають карданний вал, традиційна трансмісія та різні навісні агрегати (стартер, генератор і інші). З іншого боку, додається блок управління та перетворювач напруги (масою 32 кг), високовольтна батарея Панасонік (масою 70 кг), задній ЕД (масою 40 кг), електромеханічна трансмісія з вбудованим електромотором та генератором (масою 118 кг). В результаті автомобіль Lexus RX 400h на 200 кг важчий за Lexus RX 330, що приводить до додаткової витрати палива. Ціна автомобілів: Lexus RX 400h - 77300 \$, Lexus RX 330 - 61100 \$.

РОЗДІЛ 6 СТАРТАП ПРОЕКТ

6.1. Опис ідеї проекту

У таблиці 6.1 наведено зміст ідеї стартап проекту, подано ймовірні напрямки застосування та головні вигоди для користувача продукту.

Таблиця 6.1.

Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
	Технічний	Підвищення ефективності керування гібридним автомобілем
	Науковий	Узагальнення методів переходу до векторно-матричної моделі на основі перехідного процесу з комплексними коренями

У таблиці 6.2. наведено аналіз слабких, сильних та нейтральних характеристик проекту в порівнянні з розробкою конкурентів на ринку, де W - слабка сторона; N - нейтральна сторона; S - сильна сторона.

Таблиця 6.2.

Визначення слабких, сильних та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W	N	S
		Власний проект	TOYOTA	HONDA			
1	Час перехідного процесу	Низький	Низький	Середній			+
2	Автоматизація	+	+	+		+	
3	Круїз-контроль	+	+	+		+	
4	Повністю електричний режим руху	+	-	-			+
5	Кількість розробників	5	20	35			+
6	Система зчитування знаків	-	+	+	+		

Технологічна здійсненність ідеї проекту наведена у таблиці 6.3. У таблиці наведено ідею проекту, яку можна запровадити, технологію реалізації ідеї, виконано аналіз наявності технологій реалізації у світі та їх доступність.

Таблиця 6.3.

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Гібридна система автомобіля	Реалізація цифрової системи з ПІД-регулятором	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: реалізація цифрової системи з ПІД-регулятором				

6.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

У таблиці 6.4 наведено потенційний ринок стартап-проекту. У загальному проект відповідає умовам та вимогам ринку.

Таблиця 6.4.

Попередня характеристика потенційного ринку

№п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	10
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає швидкими темпами
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Можна визнати фінансові перепони, високий рівень якості продукції на ринку та наявність конкурентів.
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні на початкових етапах
5	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	80

У таблиці 6.5 наведено характеристичні дані потенційних клієнтів проекту, а саме потреби, що формує ринок, цільові сегменти ринку, різну поведінку потенційних клієнтів, вимоги споживачів до товару.

Таблиця 6.5.

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару

Покращення стабільності гібридної системи автомобіля	Повністю всі люди, а особливо автолюбители	Невеликі відмінності	Ціна Доступність Швидкість Стабільність
--	--	----------------------	---

Проведемо аналіз ринку, а саме визначимо фактори, що сприяють впровадженню проекту та факторів, які цьому перешкоджають. У таблиці 6.6. показано фактори загроз, зміст цих факторів та можлива реакція компанії на ці фактори.

Таблиця 6.6.

Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Економічний, політичний	Падіння світової економіки чи економіки основної країни збуту продукту	Знаходження додаткових ринків збуту
2	Посилення конкуренції	Поява нових гравців на ринку, що можуть захопити частку ринку	Надання якіснішого продукту за невисоку ціну
3	Незацікавленість клієнтів	При невдалій маркетинговій стратегії клієнта може не зацікавити продукт	Внесення додаткових сервісних послуг та зниження цін

У таблиці 6.7. проаналізовано фактори можливостей, зміст цих можливостей та реакція компанії на ці можливості.

Таблиця 6.7.

Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зростання попиту на даний вид послуг	Гібридні системи набувають популярності у всьому світі та поступово розвиваються в Україні	Задоволення зростаючого попиту шляхом випуску та удосконалення системи
2	Потреба в технічному обслуговуванні	Технічна підтримка та обслуговування клієнтів	Створення цілодобової підтримки для клієнтів

У таблиці 6.8. проведено ступеневий аналіз конкуренції ринку, а саме аналіз особливостей конкурентного середовища, як проявляється дана характеристика та вплив на діяльність підприємства, тобто дії компанії для того, щоб залишатися конкурентоспроможною.

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Монополістична конкуренція	Компанії пропонують схожі послуги, проте з певними відмінностями	Розробка унікальної продукції, що дозволить захопити більшу частку ринку
Національний	Конкуренція здійснюється на національному рівні	Компанії необхідно прикласти великі зусилля для захоплення національного ринку
Товарно-видова	Конкуренція між іншими ТМ одного виду	Проведення конкурентної боротьби з іншими торговими марками.
Внутрішньогалузева	Стосується однієї галузі	Підвищення якості та зменшення ціни
Цінова	Для великої частки споживачів ціна є основною ознакою при виборі	Головною конкурентною перевагою є унікальність позиціонування та зменшення вартості продукту
Олігополія	Не дуже багато конкурентів	Покращення якості продукту, розширення функціональності

Більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю М. Портера наведено в таблиці 6.9.

Таблиця 6.9.

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Тойота, Хонда, VAG	Гнучкі ціни, можуть собі дозволити великі інвестиції	Велика кількість постачальників, вплив постачальників наданому ринку досить високий	Факторами впливу споживачів на ринку є можливість обрати продукцію конкурентів	Надання переваги більш авторитетним компаніям

Висновки:	Висока конкурентна боротьба	Є можливості входу на ринок, наявні потенційні конкуренти	Клієнти диктують вимоги до якості, а саме: широка функціональність, наявність служби підтримки	Так	Обмеження існують лише у разі відмови від продукту
-----------	-----------------------------	---	--	-----	--

У таблиці 6.10 наведені переваги стартап-проекту над конкурентами.

Таблиця 6.10.

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Раціональніший ціновий показник	Через універсальність системи, собівартість невисока
2	Надання сервісних послуг	Сервісна підтримка апаратної частини
3	Керування ресурсами	Мінімальне використання людських ресурсів
4	Підвищення ефективності керування	Більш ефективніше керування за рахунок узагальнення методів

У таблиці 6.11 виконано зрівнювальне дослідження сильних та слабких сторін стартап проекту за факторами конкурентоспроможності.

Таблиця 6.11.

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін онлайн програми

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з нашим товаром							
			3	2	1	0	1	2	3	
1	Раціональніший ціновий показник	13							+	
2	Надання сервісних послуг	15							+	
3	Керування ресурсами	20							+	
4	Підвищення ефективності керування	17							+	

У таблиці 6.12 проведено SWOT- аналіз ринку, який визначає сильні та слабкі сторони, а також описує можливості і загрози.

SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: сервісна підтримка апаратної частини, висока ефективність, унікальність.	Слабкі сторони: Відсутність патентів та торгових марок.
Можливості: покращення зручності у користуванні, зменшення собівартості.	Загрози: незацікавленість клієнтів, зростання конкуренції на ринку.

В результаті SWOT-аналізу прораховано орієнтовний термін реалізації стартап-проекту на ринку та продемонстровано в таблиці 6.13.

Таблиця 6.13.

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Маркетингова компанія для пошуку нових клієнтів	Середня	2-3 роки
2	Пошук бізнес- партнерів з інших галузей для співпраці	Висока	1-1,5 роки

6.3. Розроблення ринкової стратегії проекту

У таблиці 6.14. проведено опис цільових груп потенційних споживачі, орієнтовний попит в межах цільової групи.

Таблиця 6.14.

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Звичайні люди	Висока	Високий	Середній	Середня
Які цільові групи обрано: звичайні люди, які мають водійське посвідчення					

Таким чином, основними цільовими споживачами та користувачами стартап-проекту є звичайні люди, які мають автомобіль чи бажали б мати. Готовність сприйняти продукт у клієнтів досить велика, що свідчить про попит на

ринку. Далі визначено стратегію охоплення ринку.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувавши базову стратегію розвитку (табл. 6.15.).

Таблиця 6.15.

Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Наділення відмінними властивостями системи	Налаштування злагоженого виробництва	Наявність вагомих відмінностей продукту, для завоювання прихильності клієнтів	Стратегія диференціації

Таким чином, було обрано стратегію диференціації, яка передбачає надання товару важливих з точки зору користувача властивостей, що роблять стартап-проект відмінним від інших проектів конкурентів. Інструментом реалізації стратегії диференціації є ринкове позиціонування.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 6.16.).

Таблиця 6.16.

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Забирати існуючих та шукати нових	Схожість характеристик апаратної частини	Стратегія спеціалізації

В залежності від обраної стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки у таблиці 6.17. розробимо стратегію позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 6.17.

Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Висока якість	Стратегія диференціації	Підвищена ефективність керування	Якість, надійність, бюджетність
2	Ціна	Стратегія лідерства	Невисока ціна на компоненти	

6.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

У таблиці 6.18 наведено ключові переваги маркетингової концепції потенційного товару та ключові переваги перед конкурентами.

Таблиця 6.18.

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Підвищення користувацьких характеристик	Економія ресурсів та екологічність системи	Простота у користуванні. прагнення до високої якості товару

У таблиці 6.19 наведено аналіз моделі товару за трьома рівняннями.

Таблиця 6.19.

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Отримання кращих характеристик при експлуатації гібридного автомобіля		
	Властивості/характеристики:	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1) Керованість,	1) М	1) Тх
	2) Якість	2) М	2) Тх
	3) Стійкість	3) М	3) Тх
	Якість: тестування у програмному пакеті MATLAB/Simulink		
	Марка: назва організації-розробника + назва товару		

	Пакування: наявне
III. Товар із підкріпленням	До продажу - якісний товар за невисокою ціною Після продажу - сервісне обслуговування

Далі визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при виборі ціни на потенційний товар (табл. 6.20.)

Таблиця 6.20.

Визначення меж встановлення ціни

№	Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	–	40000\$	Високий	Н. 20000 у.о. – В. 30000 у.о.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 6.21.).

Таблиця 6.21.

Оптимальна система збуту

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функція збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Попереднє замовлення	Встановлення зв'язків зі споживачами та їх сервісна підтримка	Канал нульового рівня	Через сайт та онлайн майданчики з продажу товарів

У таблиці 6.22. наведено аналіз складової маркетингової програми та розроблено концепцію маркетингових комунікацій.

Таблиця 6.22.

Оптимальна система збуту

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікації, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення

1	Цільова аудиторія клієнтів оцінює ціну, якість та комфортність у використанні	Інтернет	Доступність, комфортність користуванні	Зацікавлення аудиторії у купівлі продукту	На основі мотивів зручностей і додаткових переваг
---	---	----------	--	---	---

6.5. Висновки до розділу 6

В результаті розробки маркетингового аналізу стартап-проекту було проаналізовано та отримано оптимальну систему збуту, основні фактори конкурентоспроможності. Також визначено межі встановлення ціни та базову концепцію маркетингових комунікацій. По отриманим даним з маркетингового аналізу даний стартап-проект зможе конкурувати з іншими продуктами за рахунок високої якості та невисокої ціни на продукт. Концепцією рекламного звернення обрано на основі мотивів зручностей і додаткових переваг для споживача.

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі система керування гібридним автомобілем категорії M1. В процесі розробки проведено аналіз структури гібридної системи, функціональний розбір основних компонентів гібридної системи, наведено основні переваги використання гібридного та проаналізовано режими руху гібридного автомобіля категорії M1.

Розроблена структурна та функціональна схеми системи керування гібридним автомобілем категорії M1.

Досліджено методи розроблення аналітичних моделей безперервних та цифрових систем керування. Виконано узагальнення існуючих методів створення моделей систем керування з комплексними коренями. Представлена практична рекомендація та приведені аналітичні рішення визначення моделей.

Досліджена адекватність отриманих моделей. Визначено переваги та недоліки існуючих методів. Окреслені складності аналітичних методів переходу до передавальних функцій цифрових систем керування.

Виконано синтез цифрової системи зі зворотнім зв'язком за станом та прораховано коефіцієнти ПД-регулятора з найкращими характеристиками перехідного процесу. В результаті синтез цифрової системи зі зворотнім зв'язком за станом показав найкращі показники якості системи керування гібридним авто, а саме: $h_{max} = 1$, $h_{уст} = 1$, $t_{уст} = 2$ с, $t_{пп} = 2$ с, $\sigma = 0\%$.

Моделювання систем керування гібридним автомобілем виконувалось за допомогою прикладного пакету MATLAB/Simulink.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автомобілі. Теорія : навчальний посібник / В.П. Сахно, В.І. Сирота, В.М. Поляков [та ін.] – Одеса : Військова академія, 2017. - 414 с.
2. Кубіч В. І. Гібридні силові установки легкових автомобілів : навч. посіб. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 193 с.
3. Павленко В. М., Богдан В. І. Гібридні силові установки для сучасних автомобілів. Вісн. Вінниц. політехн. ін-ту. 2019. № 5. С. 108-111.
4. Тімков О. М., Григоращенко О. В. Поява гібридних силових установок на транспортних засобах. Вісник Донецької академії автомобільного транспорт. 2015. № 1. С. 42-47.
5. О. В. Бажинов та ін. «Гібридні автомобілі»: монографія / Харк. нац. автомоб.-дор. ун-т. Х.: Крок, 2008. 327 с.
6. О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. «ДВЗ з нетрадиційними робочим циклами. Напрямки розвитку транспортних енергетичних установок» / Укл.: Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 82 с.
7. Осетров О. О., Кравченко С.С., Чучуменко Б.С. «Обґрунтування параметрів послідовної гібридної силовой установки легкового автомобіля». Двигуни внутрішнього згоряння. 2022. №1. С.78-85 DOI: 10.20998/0419-8719.2022.1.10
8. В.П. Кужель, Д.С. Стаднійчук «Сучасні гібридні силові установки для легкових автомобілів» / Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 21–23 жовтня, 2013 р.: Збірник наукових праць. - Вінниця : ВНТУ, 2013. – С. 145 – 147.
9. Автомобільний транспорт: Сб. науч. тр. Вип.17. – Харків : РИО ХНАДУ, 2005. - С. 103-107.
10. В.П. Кужель, О.В. Харчук «Проблеми та перспективи експлуатації електромобілів на території України» / Науково-технічна конференція Вінницького національного технічного університету. XLV Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту, 10-11 березня 2016 р.

- : Збірник наукових праць / Вінницький національний технічний університет. – Вінниця: ВНТУ, 2016.
11. В.П. Кужель, В.В. Красиленко «Основні проблеми експлуатації електромобілів в Україні та шляхи їх вирішення» // Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 19–21 жовтня, 2015 р.: Збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – С. 132 – 135. 5.
 12. В.П. Кужель, Д.П. Комар, А.А. Кашканова «Варіанти застосування гібридних силових установок на автомобілях» / Матеріали X міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23–25 жовтня, 2017 р.: Збірник наукових праць / Вінницький національний технічний університет [та інш.]. - Вінниця: ВНТУ, 2017. -С. 116 – 119.
 13. Колеснікова Є.Б., Колесніков В.О. «Технологічні тенденції та дизайн в автомобілебудуванні». Матеріали VIII-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту». 14-15 квітня 2020 року: збірник наукових праць. / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. - Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 190 - 203.
 14. Василенко О. Є., Безруков В. О., Шуліка С. О., Знова О. І., Іщенко Б. М., Колесніков В. О. «Нові технологічні тенденції в автомобільному транспорті» / Матеріали VII-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 8 - 10 квітня 2019 р., м. Вінниця. С. 13 - 24.
 15. Бувалець М. Ю., Рулевська Т. Ф., Колесніков В. О. «Стан впровадження водневих технологій на сучасному транспорті» // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. С. 31 - 36.

16. Рулевська Т.Ф., Єльбакієв Д. Г., Колесніков В.О. «Перспективи «водневих» автомобілів» // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 168 - 172.
17. Колесніков В.А. «Водневі технології. Частина 2. Вантажні водневі автомобілі». Матеріали VIII-ої міжнародно науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту» (Materials of VIII-th international scientific practical internet-conference «Problems and prospects of automobile transport»). 14-15 квітня 2020 року: збірник наукових праць. / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. — Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 158 - 165.
18. Балицький О.І., Колесніков В.О., Іщенко Б.М. «Передумови створення водневої інфраструктури для транспортної галузі». Частина 2. «Problems and prospects of automobile transport»). 14-15 квітня 2020 року: збірник наукових праць. / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. - Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 31 - 45.
19. Ставицький О.В., Стадник Л.Г., Колесніков В.О. Концепція автомобіля майбутнього // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 181 - 189.
20. Стадник Л.Д., Колесніков В.О. Сонячні батареї, як допоміжне обладнання для електромобілів // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 198 - 202.
21. Цимбалюк П.Ю., Колесніков В.О. Системи зв'язку транспортних засобів // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 204 - 208.
22. Ярченко Б.В., Стадник Л.Д., Колесніков В.О. «Нові технології в сучасних автомобілях» // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-

- конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 216 - 223.
23. Колесніков В.О., Шуліка С.О., Гаврилюк М.Р. «Масильні матеріали для транспортної галузі та енергомашинобудування. Частина 2. Приклади випробувань. Матеріали VIII-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції 86 «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту» (Materials of VIII-th international scientific practical internet-conference «Problems and prospects of automobile transport»). 14-15 квітня 2020 року: збірник наукових праць. / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. - Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 179 - 189.
24. Olexiy Balitskii, Valerii Kolesnikov «Identification of Wear Products in the Automotive Tribotechnical System Using Computer Vision Methods, Artificial Intelligence and Big Data» // 2019 XIth International Scientific and Practical Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT) September 16 – 18, 2019, Lviv, Ukraine. P. 24 - 27.
25. Toyota Prius. URL:CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=141028>.
26. Car of the year Japan. URL:<http://www.jcoty.org/record/coty2009/>.
27. North American Car, Utility and Truck of the Year Awards. URL:<https://northamericancaroftheyear.org/winners-of-the-2019-north-american-car-utility-and-truck-of-the-year-announced/>.
28. Риб'янець С. Р.; Бахмут М. І.; Колесніков В. О. Приклади застосування адитивних технологій в автомобілебудуванні. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: X-та міжн. науково-практичн. конф., 14- 15 квітня 2022 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2022. С. 247–253.
29. Колесніков Валерій Олександрович, Колеснікова Єлизавета Борисівна. Перспективи використання технологій ігрового рушія Unreal Engine 5 в моушн дизайне. Актуальні питання, проблеми та перспективи розвитку науки та освіти: I Всеукраїнська міждисциплінарна науково-практич конф., 27-28 квітня 2022 р.

- Полтава: матеріали. Вид-во ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», 2022. С. 17–20.
30. Верещун А. В., Ануфрієв В. А., Колесніков В. О. Висвітлення деяких недоліків та переваг гібридних та водневих автомобілів. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XI-та міжн. науковопрактичн. конф., 13-14 квітня 2023 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 71-74.
31. Колесніков В. О., Балицький О. І., Гаврилюк М. Р., Іваськевич Л. М. Застосування комп'ютерного програмного комплексу для візуалізації шорсткості поверхні деталей в транспортній галузі та енергомашинобудуванні. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XI-та міжн. науково-практичн. конф., 13–14 квітня 2023 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 179–184. ISBN 978-966-641-929-6.
32. Конверсія легкового автомобіля в гібридний / О.В. Бажинов, В.Я. Двадненко, М. Хакім; під. ред. О.В. Бажинова – Харків: ХНАДУ, 2014 – 160 с.
33. Мауш Хакім. Гібридна силова установка конверсійного автомобіля / Мауш Хакім // Матеріали науково – практичної конференції «Інформаційні технології і мехатроніки» 15 квітня 2014 р. – Харків. – С. 81 – 82
34. Смирнова А.О. Аналіз розвитку інформаційних панелей електромобілів та гібридних автомобілів / Вісник ХНАДУ. - 2016. - № 55. - С. 126-129.
35. Борисенко А. О. Впровадження класів економічності автомобілів на Україні / А. О. Борисенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: збірник наукових праць. Серія «Автомобіле- та тракторобудування». – 2014. – № 10 (1053). – С. 95–99.
36. Борисенко А. О. Розрахунок пробігу гібридного автомобіля на електричній тязі в залежності від умов експлуатації / А. О. Борисенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – 2015. – № 9 (1118). – С. 57–61.
37. Борисенко А. О. Вплив завантаженості гібридного транспортного засобу на дальність пробігу на електричній тязі [Електронний ресурс] / А. О. Борисенко //

- Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. – 2015. – № 8. – С. 17–20.
38. Борисенко А. О. Основні положення універсального методу оцінки еквівалентної витрати палива транспортних засобів з електроприводом / А. О. Борисенко, В. А. Бармін // IV Міжнародна науково-технічна інтернетконференція «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології», 2015 р. - Х.: ХНАДУ. - С. 4-5.
39. Toyota Prius Car of the Year 2005. URL:<https://www.caroftheyear.org/winners/2005/index.php>. 19. Global 500 Environmental Forum. URL:<http://www.global500.org/index.php/thelaureates/online-directory/item/76-toyota-motor-club>.
40. 20. Toyota Launches All-new Prius.
41. [URL:https://global.toyota/en/detail/217527/](https://global.toyota/en/detail/217527/).
42. Гібридне авто. URL:<https://uk.wikipedia.org>.
43. Прохорова Т. В., Перчемлі І. Ф., Колесніков В. О. Матеріали та технології в автомобільній промисловості // Матеріали V-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 13-14 квітня 2017 р., м. Вінниця. - С.105 -112.
44. Савінова В. В., Колесніков В.О. Застосування методів комп'ютерного зору в автомобільній індустрії // Матеріали V-ї Міжнародної науковотехнічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 13-14 квітня 2017 р., м. Вінниця. - С. 113 -120.
45. Савінова В. В., Стадник О. І., Колесніков В. О. «Розвиток і впровадження нанотехнологій в автомобілях» // Матеріали V-ї Міжнародної науковотехнічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 13-14 квітня 2017 р., м. Вінниця. - С. 121 -124.
46. Бувалець М. Ю., Рулевська Т. Ф., Колесніков В. О. Стан впровадження водневих технологій на сучасному транспорті // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 31 - 36.

47. Колесніков В. О., Ставицький О. В., Єльбакієв Д. Г., Шматко О. Е. Огляд комп'ютерних пакетів та програм, що застосовуються в автомобільній галузі // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 100 - 109.
48. Колесніков В. О., Гаврилюк М. Р., Колеснікова Є. Б. Діагностика та контроль продуктів зношування в транспортній галузі та енергомашинобудуванні для забезпечення надійної експлуатації механізмів. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: X-та міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2022 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2022. С. 147–149.
49. Колеснікова Є. Б., Колесніков В. О. Розгляд дизайнерських напрямків в автомобілебудуванні. сучасні автомобілі в класичному стилі. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: X-та міжн. науковопрактичн. конф., 14–15 квітня 2022 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2022. С. 150–155.
50. Єльбакієв Д. Г., Мілютін Є. В., Колесніков В. О. Системи мультизарядки для електромобілів. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: IX-та міжн. науково-практичн. конф., 14–15 квітня 2021 р.: матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 88-92.