

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

**Підвищення ефективності використання
електроенергії двигуном електромобіля**

Виконав студент VI курсу, групи ЕТм-62
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Малушенко А.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Козак К.М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Мовчан Л.Т.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Тарасенко М.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

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

Факультет Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Тарасенко М.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)
студенту Малушенку Андрію Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності використання електроенергії
двигуном електромобіля

Керівник роботи к.т.н., доц. Козак К.М.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «10» листопада 2023 року № 4/7-1042

2. Термін подання студентом завершеної роботи до 20.12.2023

3. Вихідні дані до роботи Електромобіль гібридного типу. Трансмісія забезпечує передачу
Крутного моменту від двигуна внутрішнього згорання і від тягового електроприводу.
Кількість передач в трансмісії -4

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Гібридні електромобілі
2. Привід двигуна. Електрична машина. Коробка передач
3. Моделювання двигуна
4. Моделювання навантаження
5. Результати моделювання
6. Удосконалення передаточних чисел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Послідовно-паралельна гібридна система приводу
2. Модель електроприводу з інвертором та синхронного двигуна з постійними магнітами
3. Еквівалентна схема 3-фазного двигуна СДПМ
4. Блок-схема регулювання струму
5. Блок-схеми моделі системи
6. Алгоритм перемикання передач
7. Графік залежності швидкості від часу
8. Тяга транспортного засобу з 4-ступінчастою коробкою передач

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>Гурик О.Я. к.т.н., доцент кафедри МТ</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Клепчик В.М., ст. викладач кафедри ХО</i>		

7. Дата видачі завдання _____ 10.11.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд за напрямком кваліфікаційної роботи	з 10.11.2023 по 14.11.2023	
2	Підготовка основної частини пояснювальної записки кваліфікаційної роботи	з 15.11.2023 по 10.12.2023	
3	Підготовка розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	з 11.12.2023 по 13.12.2023	
4	Складання переліку використаних літературних джерел	з 13.12.2023 по 14.12.2023	
5	Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату	з 15.12.2023 по 17.12.2023	
6	Підготовка, оформлення та друк графічного матеріалу кваліфікаційної роботи	з 18.12.2023 по 20.12.2023	
7	Отримання відгуку та рецензії на кваліфікаційну роботу, підготовка доповіді на захист	з 21.12.2023 по 25.12.2023	

Студент _____
(підпис)

Малушенко А.С.
_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Козак К.М.
_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка має 67 сторінок, аркушів презентації, 27 ілюстрацій, 3 таблиці та 19 використаних першоджерел.

Метою кваліфікаційної роботи є: аналіз та покращення приводної системи на основі електродвигуна для приведення в рух пасажирського гібридного автомобіля в умовах міського руху.

Об'єкт дослідження – процес використання електроенергії для приведення в рух електромобіля.

Предмет дослідження – гібридний електромобіль, який переміщається в умовах міського руху.

У роботі розглянуто системи електроприводу гібридних автомобілів та проведено аналіз ефективності роботи гібридного автомобіля. Розроблено модель тягового приводу та навантаження транспортного засобу для гібридного електромобіля. Виконано моделювання механізму перемикання 4-швидкісних передач і встановити вплив удосконаленої системи передач на ефективність використання електроенергії з акумулятора.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОПРИВІД, ГІБРИДНИЙ ЕЛЕКТРОАВТОМОБІЛЬ, АКУМУЛЯТОР КОРОБКА ПЕРЕДАЧ

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Історія електромобілебудування	9
1.2 Історія гібридного транспортного засобу	11
1.3 Важливість гібридних та електричних транспортних засобів з екологічної та соціальної точки зору	12
1.4 Принцип дії гібридного електромобіля	13
1.5 Висновки до розділу	18
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	19
2.1 Система електроприводу	19
2.1.1 Акумулятор	19
2.1.2 Привід двигуна	21
2.1.2.1 Інвертор	21
2.1.2.2 Електрична машина	21
2.2 Модель навантаження транспортного засобу	29
2.3 Баланс потужності та енергозбереження	30
2.4 Коробка передач	32
2.5 Висновки до розділу	34
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Системне моделювання	36
3.2 Моделювання двигуна	37
3.3 Моделювання керування	38
3.4 Моделювання зубчастих передач	38
3.5 Моделювання навантаження	40
3.6 Моделі дорожніх циклів як вхідні дані	41
3.7 Результати моделювання	44

3.7.1 Результати швидкості та крутного моменту для ступінчастого входу	44
3.7.2 Результати моделювання з використанням ДГМР	48
3.8 Оптимізація передаточних чисел	50
3.9 Висновки до розділу	54
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	55
4.1 Заходи безпеки при монтажі електроустановок	55
4.2 Допомога при ураженні електричним струмом в електроустановках напругою до 1000 В	56
4.3 Підвищення стійкості роботи об'єктів енергетики у воєнний час	59
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	63
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	65

ВСТУП

Актуальність теми.

Концепція гібридних електромобілів (ГЕМ) та повністю електричних транспортних засобів (ЕТЗ), що працюють від акумуляторів, така ж давня, як і сам автомобіль, що з'явився понад сто років тому. На жаль, низька вартість викопного палива знищила будь-яку привабливість цих транспортних засобів. Однак останнє десятиліття стало бумом на ринку електромобілів, оскільки вони стали зростаючим сегментом ринку в транспортному просторі. Основними причинами були зменшення впливу спалювання викопного палива на навколишнє середовище, зниження транспортних операційних витрат і загальний інтерес споживачів до технологій.

Наразі існує достатній імпульс з боку автовиробників, що навіть зниження витрат на паливо для автомобілів з двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ) не зможе зупинити прогрес та розповсюдження електромобілів та електромобілів на паливі. Фактично, електрифікація транспортних засобів стала основою для запуску нових технологій в автомобілях, таких як напівавтономне і навіть автономне водіння.

Хоча комп'ютерні моделі вже десятиліттями використовуються в індустрії дизайну, поява електромобілів нового покоління дійсно прискорила використання комп'ютерного моделювання та симуляції всієї системи для оптимізації всіх аспектів транспортних засобів, включаючи енергоспоживання. Це стало надзвичайно важливим, оскільки станції для зарядки акумуляторів не так легко знайти, як заправні станції. Крім того, зарядка акумулятора займає набагато більше часу, ніж заправка бензобаку в двигуні внутрішнього згорання (ДВЗ) транспортного засобу.

Протягом останніх трьох десятиліть проводились дослідження щодо споживання палива транспортними засобами через технічні зміни. Вплив поведінкових характеристик на споживання пального транспортними засобами

досліджувався не так часто. Реальні цикли водіння відрізняються від попередньо визначених циклів, що показано в емпіричних дослідженнях.

Нещодавнє дослідження показало, як реалістичний їздовий цикл може бути використаний для оптимізації передаточних чисел, де враховується динаміка руху. Дослідження проводилось на міських дорогах Індії з індійським їздовим циклом. Це дослідження показало, що оптимальна координація як передаточного числа, так і швидкості транспортного засобу відіграє важливу роль у підвищенні паливної ефективності транспортного засобу.

Майбутнє гібридних автомобілів багатообіцяюче. У світі, де кількість електромобілів зростає, гібриди пропонують водіям надійне та гнучке рішення. Вони задовольняють різноманітні потреби - від екологічної свідомості до практичності. З розвитком технологій межа між гібридами та повністю електричними транспортними засобами може розмитися, створюючи майбутнє, в якому різниця полягатиме не в типі пального, а в ефективному та екологічному транспорті. Гібридні автомобілі залишаються, і їхня роль в автомобільному ландшафті, що розвивається, актуальна як ніколи.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є: аналіз та покращення приводної системи на основі електродвигуна для приведення в рух пасажирського гібридного автомобіля в умовах міського руху.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати системи електроприводу гібридних автомобілів. Встановити вплив приводу із постійною швидкістю та коробкою передач на ефективність електроавтомобіля.
2. Провести аналіз ефективності роботи гібридного автомобіля.
3. Розробити модель тягового приводу та навантаження транспортного засобу для гібридного електроавтомобіля.
4. Виконати моделювання механізму перемикування 4-швидкісних передач.
5. Встановити вплив удосконаленої системи передач на ефективність використання електроенергії з акумулятора.

Об'єкт дослідження – процес використання електроенергії для приведення в рух електромобіля.

Предмет дослідження – гібридний електромобіль, який переміщається в умовах міського руху.

Наукова новизна отриманих результатів.

Дістав подальший розвиток підхід до визначення ефективності використання електроенергії тягового акумулятора гібридного електроавтомобіля для живлення електродвигуна.

Практичне значення отриманих результатів.

В результаті проведеного моделювання та розрахунків встановлено оптимальне співвідношення швидкостей в коробці передач гібридного електромобіля на прикладі Toyota Prius, що може бути використане при проектуванні наступних поколінь даного електромобіля.

Апробація. Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на X Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 6-7 грудня 2023 року. ТНТУ [1]

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (198 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 67 сторінок, 3 таблиці, 27 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Історія електромобілебудування

У 1900 році парова технологія була вдосконалена. Перевагами парових автомобілів були високі показники потужності та швидкості. Однак недоліками парових автомобілів були низька економія палива та необхідність "розпалювати котел" перед початком руху. Живильна вода була необхідним ресурсом для парового двигуна, тому він не міг миритися з втратою прісної води. Пізніше для вирішення проблеми живильної води в парових машинах почали застосовувати парові конденсатори. Однак на той час бензинові автомобілі виграли маркетингову битву.

Бензинові автомобілі 1900 року були шумними, брудними, смердючими, примхливими і ненадійними. У порівнянні з ними, електромобілі були комфортними, тихими, чистими і модними. Легкість керування також була бажаною особливістю.

Свинцево-кислотні акумулятори використовувалися в 1900 році і досі використовуються в сучасних автомобілях. Таким чином, свинцево-кислотні акумулятори мають довгу історію (з 1881 року) використання в якості життєздатного накопичувача енергії.

Золотий вік електромобілів припадає на 1890-1924 роки з піком виробництва електромобілів у 1912 році. Однак дальність їзди була обмежена запасом енергії в акумуляторі. Після кожної поїздки батарея вимагала підзарядки. На автомобільній виставці 1924 року не було представлено жодного електромобіля. Це означало кінець Золотого віку автомобілів на електричній тязі. Запас ходу бензинового автомобіля був набагато більшим, ніж у парового чи електромобіля, і він домінував на автомобільному ринку з 1924 по 1960 рік. Бензинові автомобілі мали одну домінуючу особливість - вони використовували бензин як паливо. Сучасний період починається з нафтового ембарго та дефіциту бензину в 1970-х роках, що спричинило довжелезні черги

на заправках. Інженери зрозуміли, що хороші якості бензинового двигуна можна поєднати з характеристиками електродвигуна, щоб створити досконаліший автомобіль. Поєднання цих двох елементів дало гібридний автомобіль.

Хронологія розвитку електричного автомобілебудування:

1769 р. Перший автомобіль з паровим двигуном був сконструйований Ніколя-Жозефом Кутно і побудований М. Брезіном, який міг розвивати швидкість до 6 км/год. Ці перші парові машини були настільки важкими, що їх можна було використовувати лише на ідеально рівній поверхні, наприклад, на залізній.

1807 р. Наступним кроком у розвитку автомобіля став винахід двигуна внутрішнього згоряння. Франсуа Ісаак де Ріваз сконструював перший двигун внутрішнього згоряння, який використовував суміш водню і кисню для отримання енергії.

1825 р. Британський винахідник Голдс Гід Герні побудував паровий автомобіль, який успішно подолав 85 миль в обидва боки за десять годин.

1839 Роберт Андерсон з Абердіна, Шотландія, побудував перший електромобіль. 1860 р. Жан Жозеф Етьєн Ленуар, француз, побудував перший успішний двотактний двигун, що працює на газі.

1886 р. Історичні записи свідчать, що в Англії з'явилося таксі на електричній тязі, яке використовувало акумуляторну батарею з 28 елементів і невеликий електродвигун.

1888 р. Компанія Immisch&Companу побудувала для султана Османської імперії карету для чотирьох пасажирів, що працювала від електродвигуна з однією кінською силою та акумулятора на 24 комірки. Того ж року Магнус Фольк у Брайтоні, Англія, виготовив триколісний електричний автомобіль.
1890 - 1910.

1.2 Історія гібридного транспортного засобу

У 1890 р. Якоб Лонер, виробник автобусів у Відні, Австрія, передбачив потребу в електричному транспортному засобі, який був би менш шумним, ніж нові автомобілі, що працюють на газі. Він замовив проект електромобіля австро-угорському інженеру Фердинанду Порше, який нещодавно закінчив Віденський технічний коледж. Перша версія електромобіля Порше використовувала пару електродвигунів, встановлених у маточини передніх коліс звичайного автомобіля. Автомобіль міг проїхати до 38 миль. Щоб збільшити запас ходу, Porsche додав бензиновий двигун, який міг підзаряджати батареї, таким чином з'явився перший гібрид - Lohner-Porsche Elektromobil. Перші гібридні транспортні засоби

У 1900 р. Порше показав свій гібридний автомобіль на Паризькій виставці 1900 року. Бензиновий двигун використовувався для живлення генератора, який, у свою чергу, приводив у дію невелику серію електродвигунів. Електричний двигун використовувався для надання автомобілю невеликої додаткової потужності. Цей метод серійних гібридних двигунів використовується і сьогодні, хоча, очевидно, з подальшим покращенням продуктивності та більшою економією пального.

У 1915 р. Виробники Woods Motor Vehicle створили гібридний автомобіль Dual Power, другий гібридний автомобіль на ринку. Замість того, щоб поєднувати два джерела енергії для отримання єдиної потужності, Dual Power використовував електричну батарею для живлення двигуна на низьких швидкостях (нижче 25 км/год), а бензиновий двигун - для розгону автомобіля з цих низьких швидкостей до максимальної швидкості 55 км/год. У той час як Porsche винайшов серійний гібрид, Вудс винайшов паралельний гібрид.

1918 р. Woods Dual Power став першим гібридом, який пішов у масове виробництво. Всього було побудовано близько 600 моделей. Однак еволюція двигуна внутрішнього згорання залишила електричну енергію маргінальною технологією

У 1960 р. Віктор Вук брав участь у створенні численних гібридних конструкцій, за що отримав прізвисько "хрещений батько гібрида". У 1976 році він навіть переобладнав автомобіль Buick Skylark з бензинового на гібридний.

У 1978 р. Сучасні гібридні автомобілі покладаються на систему рекуперативного гальмування. Коли автомобіль зі стандартним двигуном внутрішнього згоряння гальмує, багато енергії втрачається, оскільки вона розсіюється в атмосфері у вигляді тепла. Рекуперативне гальмування означає, що для уповільнення автомобіля використовується електродвигун, який, по суті, збирає цю енергію і використовує її для підзарядки електричних батарей всередині автомобіля. Вважається, що тільки ця розробка значно просунула виробництво гібридних автомобілів. Вперше система рекуперативного гальмування була розроблена у 1978 році Девідом Артурсом. Використовуючи стандартні автомобільні компоненти, він переобладнав Opel GT, щоб забезпечити витрату пального на 75 миль на галон, і багато домашніх переобладнань здійснюються з використанням планів цієї системи, які все ще широко доступні в Інтернеті.

1.3 Важливість гібридних та електричних транспортних засобів з екологічної та соціальної точки зору

З розвитком сучасної культури та технологій зростаюча присутність глобального потепління та незворотних змін клімату викликає все більше занепокоєння серед населення планети. Лише нещодавно сучасне суспільство звернуло увагу на ці зміни і вирішило, що потрібно щось змінювати, щоб зупинити процес глобального потепління. Країни по всьому світу працюють над тим, щоб різко скоротити викиди CO₂ та інших шкідливих забруднювачів навколишнього середовища. Серед найпомітніших виробників цих забруднювачів - автомобілі, які майже виключно працюють на двигунах внутрішнього згоряння і викидають шкідливі для здоров'я викиди. За різними даними, легкові та вантажні автомобілі відповідальні за майже 25% викидів

CO₂, а на інші основні види транспорту припадає ще 12%. Зважаючи на величезну кількість автомобілів на дорогах, двигуни внутрішнього згорання швидко стають мішенню для звинувачень у глобальному потеплінні. Однією з потенційних альтернатив зменшенню залежності світу від стандартних автомобілів з двигунами внутрішнього згорання є гібридні автомобілі. Економічна ефективність також є важливим фактором, що сприяє розвитку екологічно чистого транспортного сектору.

1.4 Принцип дії гібридного електромобіля

Гібридний електромобіль (ГЕМ) - визначається як технологія, в якій використовується більше одного джерела енергії, з яких принаймні одним джерелом буде електроенергія. Існує три основних типи ГЕМ. Всі ГЕМ-системи оснащені електродвигуном, ДВЗ і генератором. Вони можуть бути послідовними, паралельними або послідовно-паралельними, залежно від того, як налаштована система. Послідовний гібрид дуже схожий на звичайний електромобіль, оскільки електродвигун рухає транспортний засіб. Бензиновий двигун присутній лише для того, щоб забезпечити додаткову потужність електродвигуна через інвертор, і діє як розширювач діапазону.

У паралельному гібриді потужність трансмісії розподіляється між ДВЗ та електродвигуном. Концепція використання паралельної гібридної системи успішно реалізована в новій покращеній моделі Honda Insight та в Honda Civic Hybrid. Перевагою використання паралельного гібридного джерела є те, що у разі виходу з ладу одного з джерел живлення, інше джерело буде автоматично доступне для руху автомобіля. Пряме з'єднання валу ДВЗ з колесами забезпечує меншу трансформацію потужності і, таким чином, досягається вища ефективність. Диференціал, гідротрансформатор і комбінація трансмісії є більш ефективними, ніж шлях від ДВЗ до коліс у серійних ГЕМ. Таким чином, розмір тягового електродвигуна паралельного гібрида менший, ніж у послідовного

гібрида. Можливі й інші комбінації та конфігурації цих двох підсистем. Однак їх обговорення виходить за рамки цієї роботи.

Нарешті, послідовно-паралельний гібрид - це коли автомобіль може працювати тільки від бензинового двигуна, тільки від електродвигуна або від обох. Toyota Prius сконфігурований для послідовно-паралельного приводу, як показано на рисунку 1.1. Система ГЕМ оснащена електродвигуном, ДВЗ і генератором. Для інтеграції цих систем використовується планетарний редуктор, який забезпечує функціональність структури потоку потужності для різних режимів роботи [2]. У цій системі є два типи двигунів: первинний електродвигун (MG2) використовується для забезпечення механічної потужності приводу для переміщення автомобіля за допомогою ДВЗ, а також він (MG2) використовується для підзарядки акумуляторної батареї під час процесу рекуперативного гальмування. Вторинний електродвигун (MG1) відповідає за роботу в якості генератора, який передає енергію від ДВЗ для підзарядки акумулятора, а також виступає в якості джерела живлення для MG2, який допомагає в русі автомобіля [3].

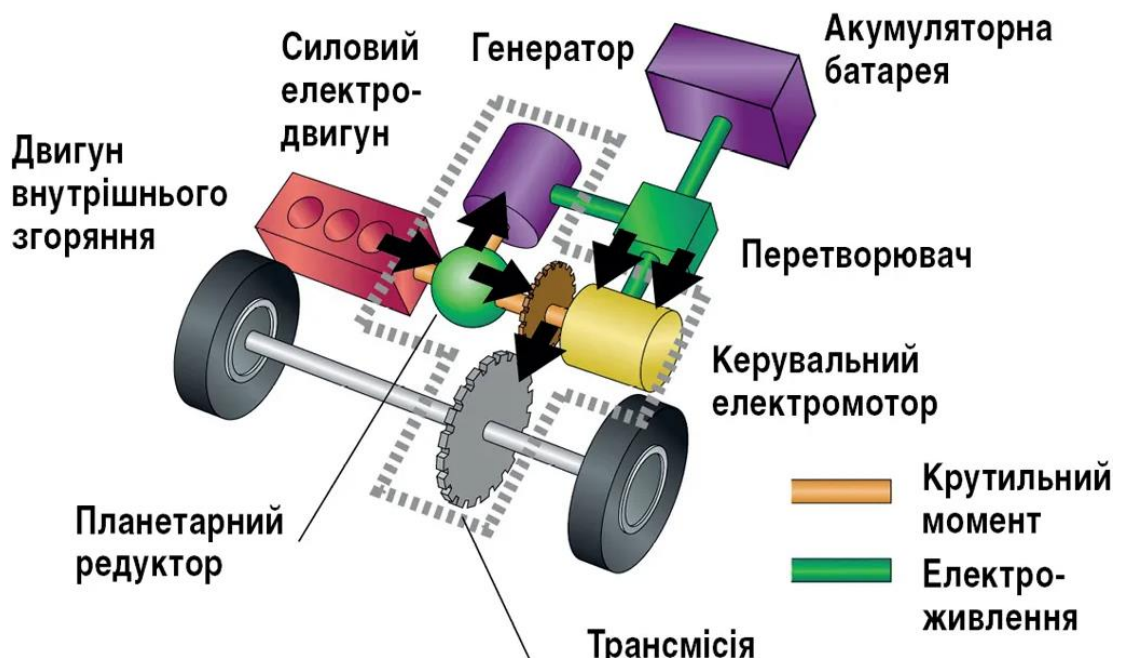


Рисунок 1.1- Послідовно-паралельна блок-схема приводу ГЕМ

Послідовно-паралельна комбінація електроприводу ГЕМ живиться від акумулятора і механічного приводу з використанням застарілого ДВЗ, що

працює на паливі. Колеса можуть приводитися в рух як ДВЗ, так і тяговим електродвигуном. Обидві системи з'єднані з карданним валом транспортного засобу, як показано графічно на рисунку 1.2. Як електрична машина, так і двигун відповідають за виробництво окремих потужностей, які є P_{TM} і P_{ICE} , відповідно. Необхідна потужність виробляється ДВЗ за рахунок спалювання палива як джерела енергії. Для тягового двигуна джерелом живлення є акумуляторна батарея.

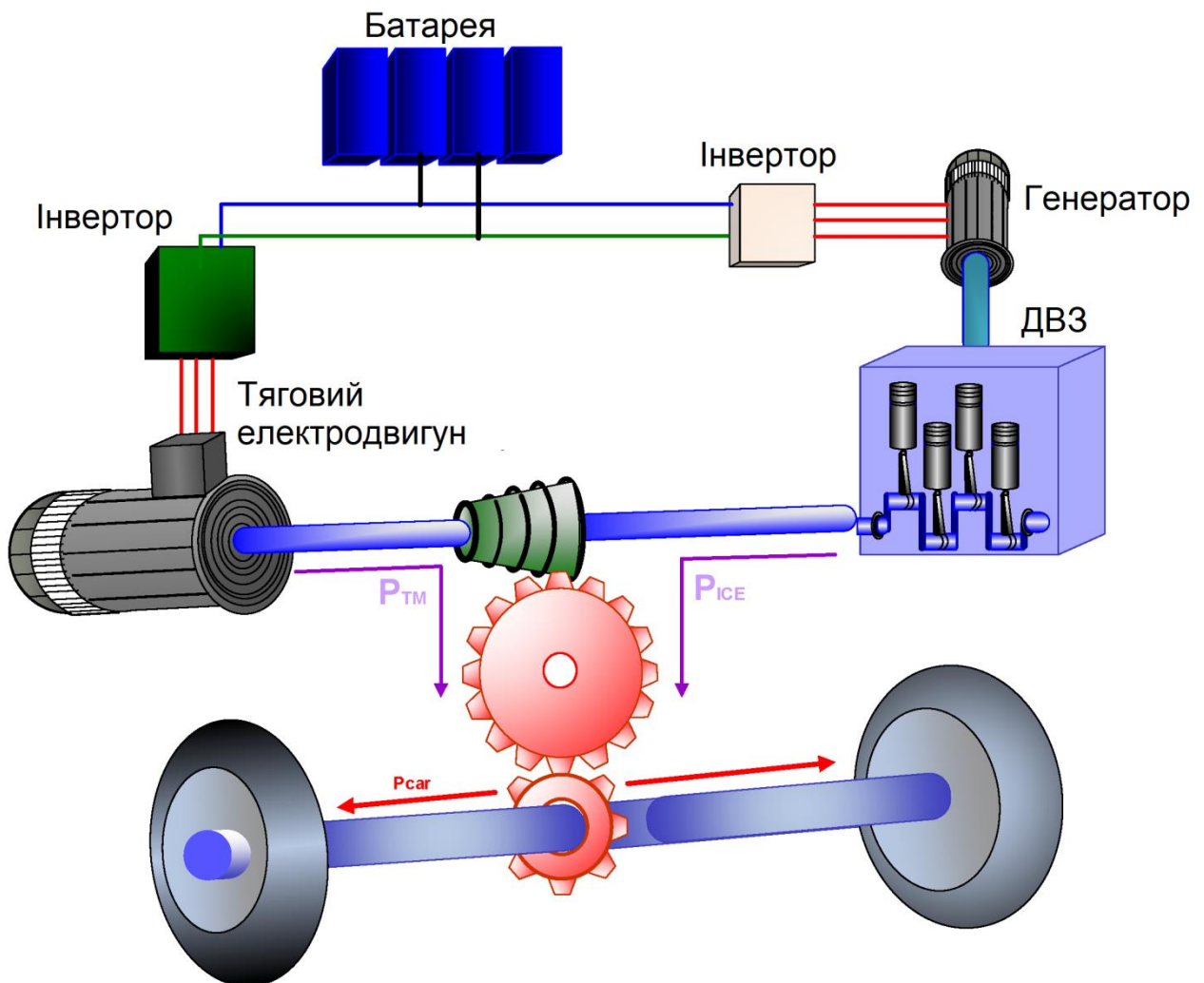


Рисунок 1.2 - Послідовно-паралельна гібридна система приводу

Основна ідея полягає в тому, щоб використовувати електричний привід якомога довше, перш ніж ДВЗ повинен використовуватися для більш тривалих поїздок, за необхідності, щоб максимально зменшити використання палива. Ця концепція вимагає, щоб автомобіль використовував якомога більшу батарею. Однак, через обмеження за розміром і вагою, батарея обмежена в кількості

енергії, яку вона може зберігати у відведеному для цього просторі. Для того, щоб підтримувати низький струм для мінімізації втрат I^2R в проводах, батарея, як правило, розрахована на високу напругу в діапазоні від 200 до 500 В.

Багато з існуючих сьогодні на ринку ГЕМ використовують або асинхронний двигун (АД), або синхронний двигун з постійними магнітами (СДПМ). Розмір, вага, вартість та ефективність - ось деякі з критеріїв, які беруться до уваги при проведенні такої оцінки. Асинхронні двигуни, як правило, мають меншу питому потужність (50 кВт/48 кг) порівняно з синхронними двигунами з постійними магнітами (50 кВт/30 кг) [4,5]. Однак, як правило, СДПМ коштує дорожче через магніти, що використовуються в двигуні. У випадку Toyota Prius, СДПМ використовується як частина електроприводу. У таблиці 1.1 нижче наведено основні компоненти та номінальні характеристики системи електроприводу Toyota Prius.

Таблиця 1.1 - Характеристики підсистеми електроприводу

Підсистема	Тип	Специфікація
Батарея	Нікель-метал-гідридний	288 В 6,5 А·год
Перетворювач	Boost (IGBT)	600 В 36,5 кВт
Інвертор	Повний H-міст з IGBT	
Двигун	СДПМ	300 Н (пік)

Хоча більшість двигунів розроблені і використовуються для роботи на постійній швидкості і забезпечують постійну потужність, багато сучасних систем вимагають змінної швидкості, де використовуються електродвигуни. З метою підвищення ефективності та енергозбереження було проведено значну кількість досліджень у галузі електроприводу зі змінною швидкістю (ЕЗШ). Загальна кількість електроенергії, що виробляється в США, майже на 65 % споживається електродвигунами. Значна частина електродвигунів у США

приводить у рух вентилятори, насоси, компресори та конвеєри, де потрібна постійна швидкість. Лише невеликий відсоток електродвигунів є тяговими пристроями в автомобілях, де необхідна змінна швидкість. Підвищуючи ефективність механічної передачі та зменшуючи енергоспоживання, можна досягти значної економії для зменшення споживання енергії. Використання приводу зі змінною швидкістю замість приводу з постійною швидкістю може підвищити ефективність системи від 15 до 27%. Робота приводу зі змінною швидкістю приносить користь навколишньому середовищу з точки зору економії енергії, зменшує забруднення атмосфери за рахунок зниження споживання енергії та виробництва [6,7].

З появою мікроелектроніки, включаючи обчислювальну потужність, датчики, силові MOSFET і цифрову електроніку, ЕЗШ набули широкого поширення. Для керування двигуном, інвертором та обробки сигналів різних датчиків потрібна складна мікропроцесорна система керування. Зазвичай це робиться за допомогою електронного блоку управління (ЕБУ), який має вбудований процесор та інші периферійні пристрої. Блок-схема типового ЕБУ на базі процесора показана нижче на рисунку 1.3. Весь пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) контроль, а також формування та обробку сигналів виконує ЕБУ.

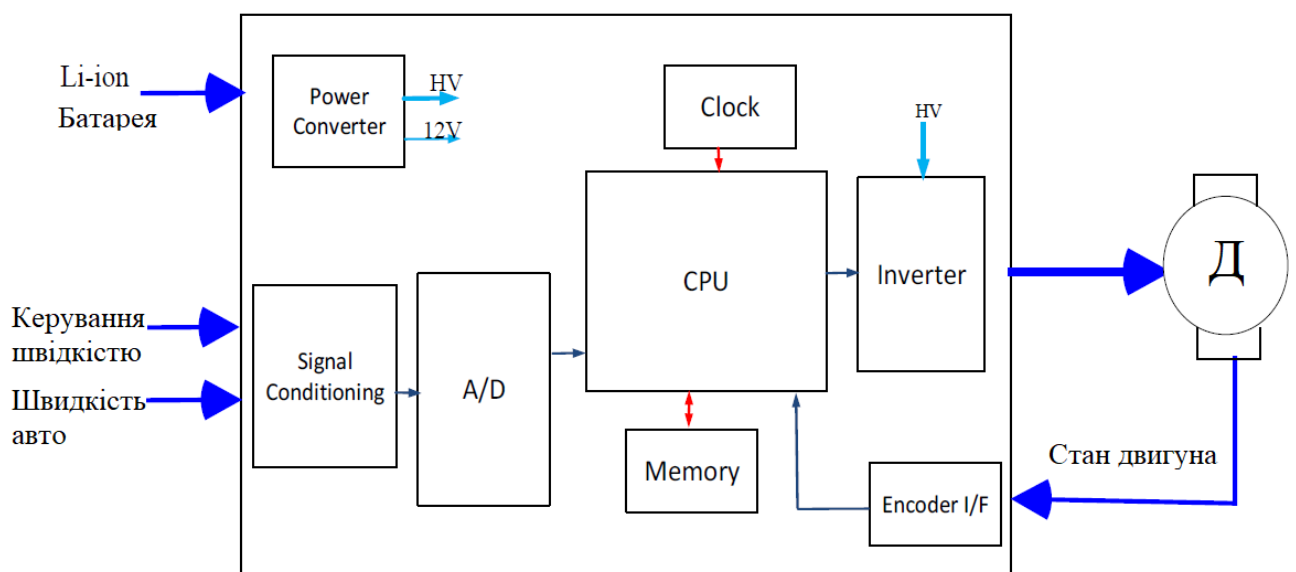


Рисунок 1.3 - Типовий електронний блок керування на базі центрального процесора

Тема пошуку паливної ефективності за допомогою оптимізованих передаточних чисел була досліджена і опублікована Мінжає Кімом та ін. [8]. У статті описано встановлення передаточного числа при проектуванні гібридного електромобіля з урахуванням ефективності використання палива та заряду акумулятора. Гібридний алгоритм, який використовував метод одновимірного та RSM-пошуку для визначення найкращого передаточного числа для гібридного транспортного засобу, що використовує менше енергії від акумулятора. Цей алгоритм успішно досягнув зниження споживання енергії до 0,84%. Запропонований алгоритм може бути використаний у будь-якому транспортному засобі з подвійною тягою [8].

1.5 Висновки до розділу

1. Проаналізовано типи гібридних електромобілів, а саме послідовні, паралельні або послідовно-паралельні. Встановлено їх переваги та недоліки.
2. Проведено аналіз послідовно-паралельної гібридної системи електроприводу. Встановлено, що багато з існуючих сьогодні на ринку електромобілів використовують або асинхронний двигун, або синхронний двигун з постійними магнітами (СДПМ).
3. Встановлено, що підвищуючи ефективність механічної передачі та зменшуючи енергоспоживання, можна досягти значної економії для зменшення споживання енергії. Використання приводу зі змінною швидкістю замість приводу з постійною швидкістю може підвищити ефективність системи від 15 до 27 %. Робота приводу зі змінною швидкістю приносить користь навколишньому середовищу з точки зору економії енергії, зменшує забруднення атмосфери за рахунок зниження споживання енергії та виробництва.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Система електроприводу

2.1.1 Акумулятор

Високовольтна батарея є основним джерелом живлення для приводу електродвигуна. Ємність акумулятора розрахована таким чином, щоб забезпечити достатню кількість енергії для типового періоду їзди протягом одного дня. Однак, залежно від дорожніх умов, заряду акумулятора може не вистачити надовго. Отже, може виникнути потреба в підзарядці акумулятора протягом дня. Для забезпечення максимального пробігу на одному заряді акумулятора дуже важливо, щоб система керування керувала автомобілем і системою приводу двигуна максимально ефективно.

Під час руху містом, де автомобілю постійно доводиться сповільнюватися та зупинятися, існує можливість рекуперації частини кінетичної енергії автомобіля назад в електричну енергію. Це явище відоме як рекуперативне гальмування, коли в режимі уповільнення двигун перетворюється на генератор, таким чином повертаючи заряд в акумулятор.

Технологія акумуляторних батарей включає в себе хімію та фізику. Літій-іонні акумулятори стали провідним типом у більшості портативних пристроїв [9,10,11]. Однак для більших систем, таких як автомобіль, літій-іонні акумулятори також бажано використовувати через їх відносно високу щільність енергії. Графік щільності енергії для різних типів акумуляторів для порівняння показано на рис. 2.1.

Типова залежність напруги літій-іонного акумулятора від стану заряду (СЗ) показана нижче на рис. 2.2. Напруга залишається відносно постійною (від 3,2 до 3,6 В) у всьому діапазоні заряду, поки не наблизиться до 0% СЗ.

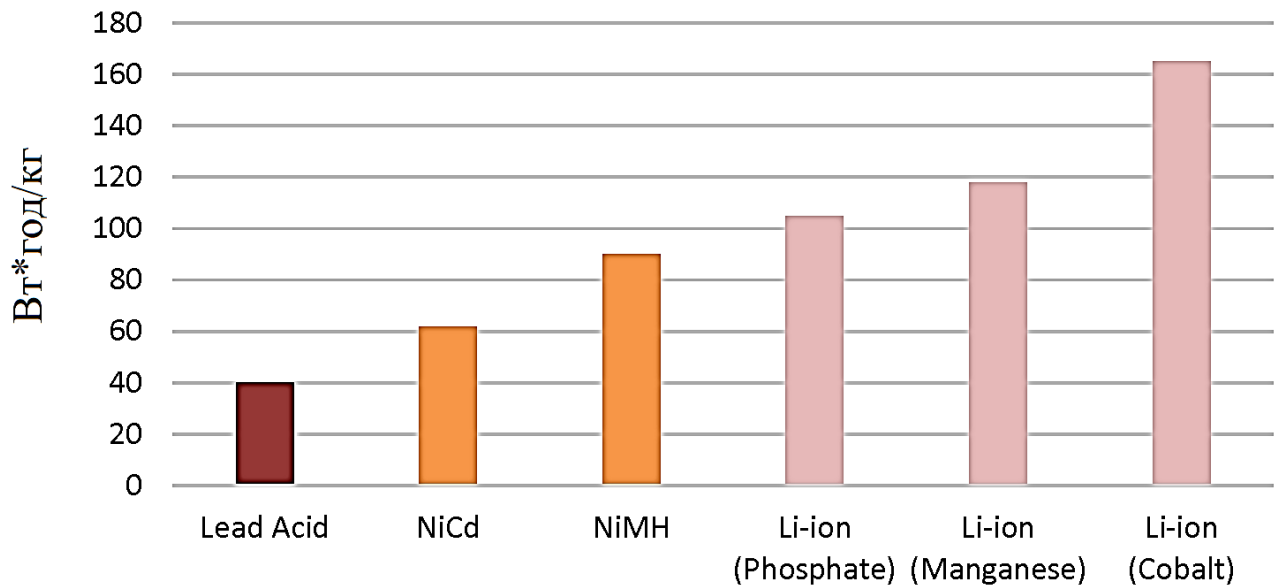


Рисунок 2.1 - Щільність енергії для різних типів акумуляторів

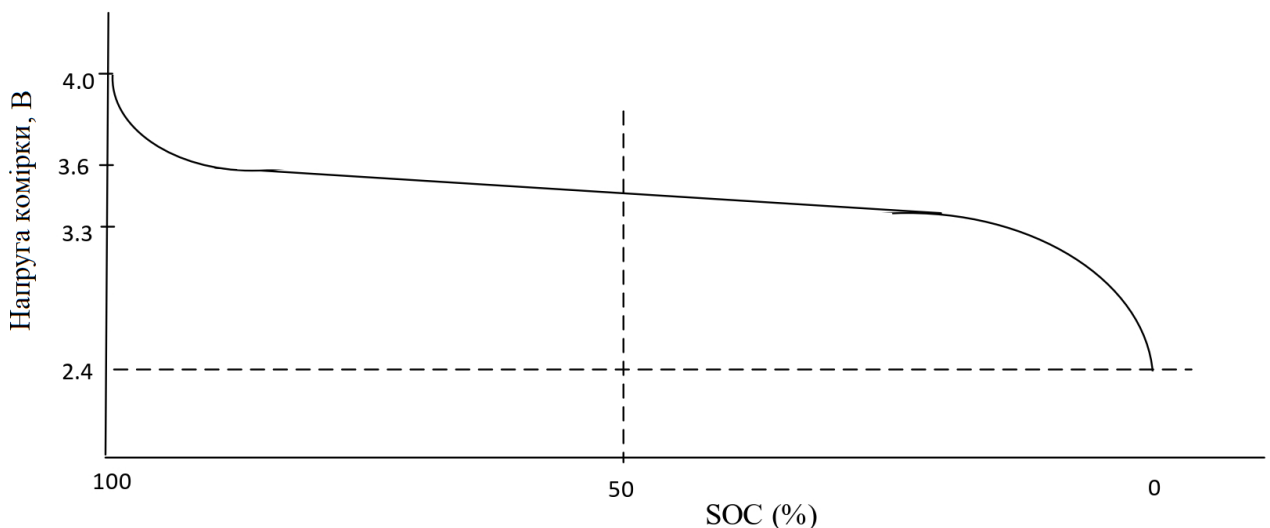


Рисунок 2.2 - Типова напруга літій-іонного елемента в порівнянні з СЗ

Оскільки кожна комірка має напругу лише близько 3,3 В і ємність близько 3000 мА·год, акумуляторна батарея, здатна жити таку велику систему, як автомобіль, зазвичай будується з використанням послідовних і паралельних комбінацій елементів, щоб забезпечити належну напругу і загальну енергію. Таким чином, для отримання 200 В потрібно близько 60 послідовно з'єднаних елементів, а для отримання номінальної потужності 50 кВт·год - близько 80 паралельно з'єднаних елементів.

Технологія акумуляторів є цікавою темою, в якій проводиться багато досліджень, спрямованих на покращення її продуктивності [11,12,13]. Для цілей цієї оцінки передбачається ідеальне джерело живлення. Це моделюється за допомогою простого джерела напруги з нульовим вихідним опором. Цю модель можна модифікувати, щоб вона більше відповідала реальним характеристикам акумулятора. Однак моделювання реальної акумуляторної батареї виходить за рамки цього дослідження.

2.1.2 Привід двигуна

2.1.2.1 Інвертор

Основна функція інвертора полягає в перетворенні постійної напруги в змінну напругу, де частота приводу синхронізована з частотою обертання ротора двигуна. Інвертор використовується для створення широтно-імпульсної модульованої напруги на фазах двигуна. Це, в свою чергу, дозволяє протікати контрольованим струмам в обмотках двигуна. Таким чином, інвертор є основною частиною схеми приводу двигуна, що дозволяє контролювати струми в двигуні, а двигун виробляти плавний вихідний крутний момент. Типова схема інверторного приводу показана на рис. 2.3. У цій роботі інвертор моделюється як ідеальне 3-фазне джерело струму від контролера.

2.1.2.2 Електрична машина

Основною функцією електроприводу є здатність перетворювати електричну енергію в механічну. Це досягається за допомогою електричної машини або двигуна. У цьому дослідженні для моделювання системи було використано синхронний двигун з постійними магнітами (СДПМ). Поперечний переріз типового 3-фазного, 4-полюсного СДПМ показаний на рисунку 2.4. Поверхневі (постійні) магніти створюють потік у роторі. Обмотки статора

знаходяться в пазах таким чином, що в повітряному зазорі створюється синусоїдальна щільність потоку.

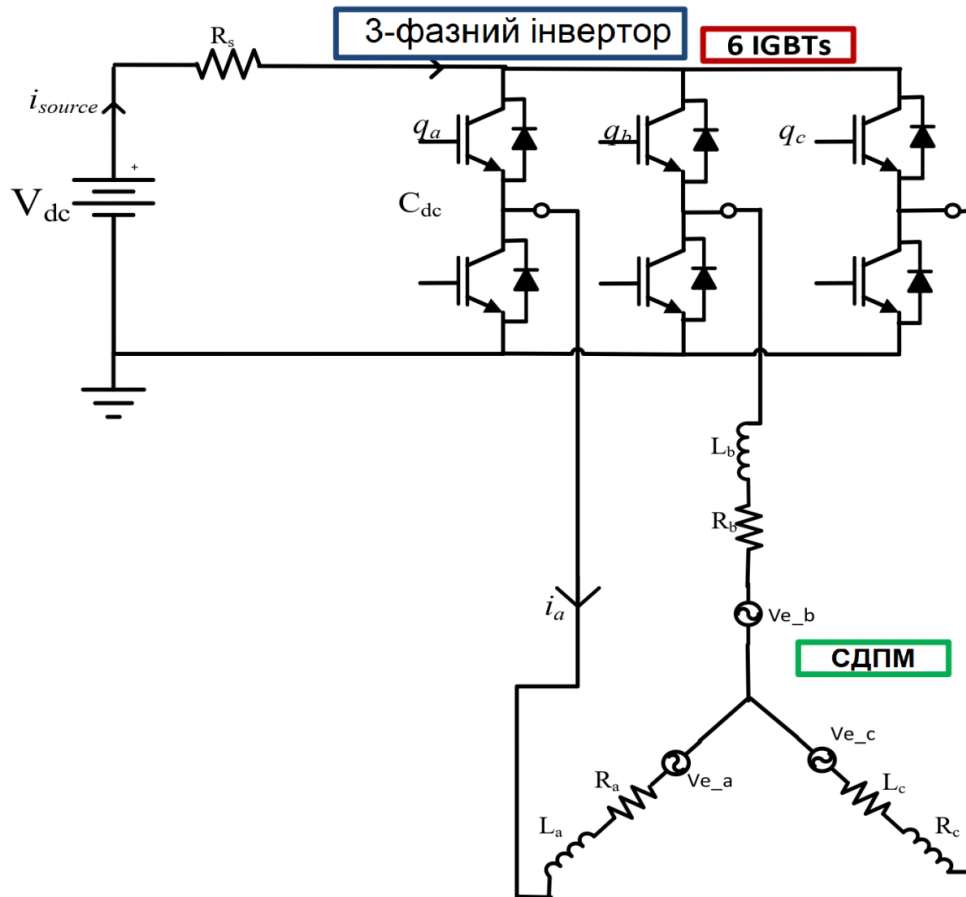


Рисунок 2.3 - Модель електроприводу з інвертором та синхронного двигуна з постійними магнітами (СДПМ)

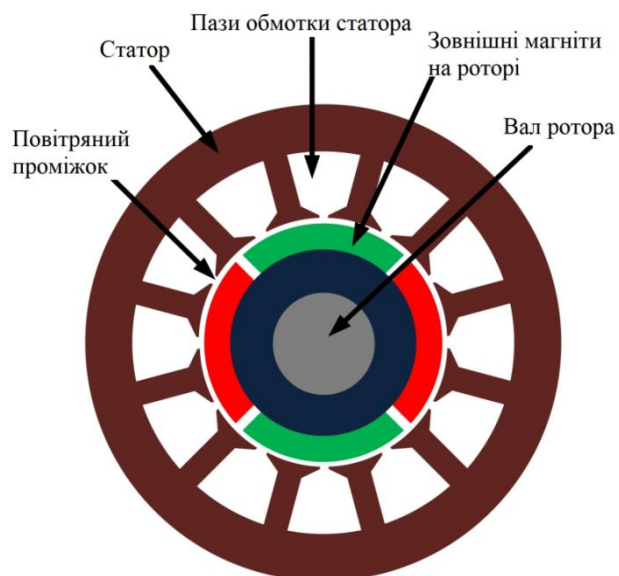


Рисунок 2.4 - Поперечний переріз СДПМ

Типова крива крутного моменту і потужності двигуна в залежності від швидкості обертання показана на рис. 2.5. Крутний момент двигуна як функція швидкості задається формулою (2.1).

$$\tau = \tau_s - K \frac{1}{\omega_{NL}} \omega, \quad (2.1)$$

де τ_s - момент зупинки;

ω_{NL} - частота обертання без навантаження (об/хв);

K - константа.

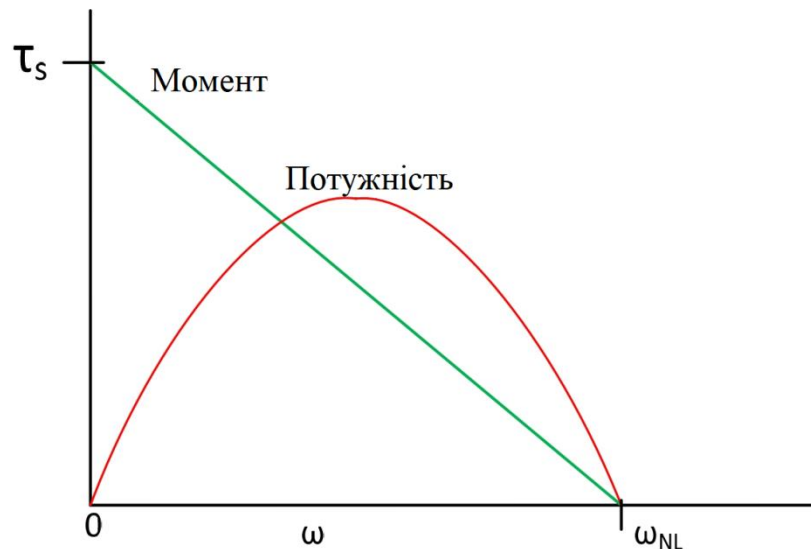


Рисунок 2.5 - Залежність крутного моменту і потужності СДПМ від швидкості

Залежність потужності двигуна від швидкості обертання, показана на рис.2.5, має вигляд (2.2).

$$P = \tau \omega. \quad (2.2)$$

СДПМ, що використовується в електроприводі, можна моделювати за допомогою рівнянь стаціонарного стану. Цей рівень деталізації необхідний для

належного аналізу і буде використаний при моделюванні системи. Рівняння напруги статора визначаються як:

$$v_a = i_a r_a + \frac{d\lambda_a}{dt}, \quad (2.3)$$

$$v_b = i_b r_b + \frac{d\lambda_b}{dt}, \quad (2.4)$$

$$v_c = i_c r_c + \frac{d\lambda_c}{dt}. \quad (2.5)$$

Рівняння зв'язку потоків можна записати у вигляді:

$$\lambda_a = L_{aa}i_a + L_{ab}i_b + L_{ac}i_c + \lambda_{ma}, \quad (2.6)$$

$$\lambda_b = L_{ab}i_a + L_{bb}i_b + L_{bc}i_c + \lambda_{mb}, \quad (2.7)$$

$$\lambda_c = L_{ac}i_a + L_{bc}i_b + L_{cc}i_c + \lambda_{mc}; \quad (2.8)$$

де L_{aa} , L_{bb} і L_{cc} - самоіндуктивності фаз статора a , b і c ;
 L_{ab} , L_{bc} і L_{ac} - взаємні індуктивності між відповідними фазами.

Потокозчеплення за рахунок постійних магнітів має вигляд:

$$\lambda_{ma} = \lambda_m \cos \theta, \quad (2.9)$$

$$\lambda_{mb} = \lambda_m \cos \theta - 2\pi / 3, \quad (2.10)$$

$$\lambda_{mc} = \lambda_m \cos \theta + 2\pi / 3; \quad (2.11)$$

де λ_m - пікове потокозчеплення за рахунок постійного магніту,
 θ - положення ротора.

Фази двигуна СДПМ, з'єднані між собою у вигляді клиноподібного з'єднання, показані на рис. 2.6.

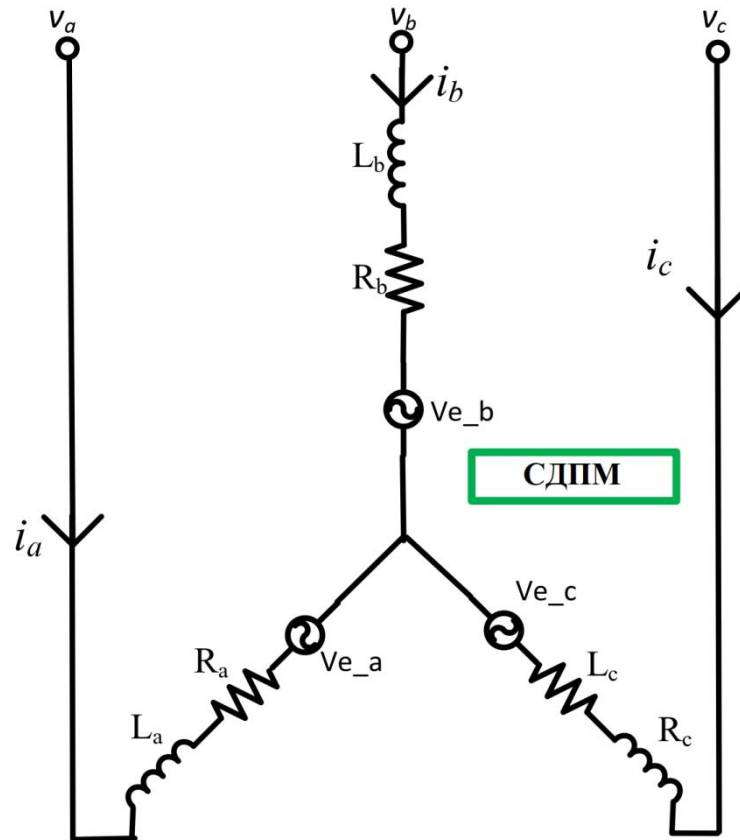


Рисунок 2.6 - Еквівалентна схема 3-фазного двигуна СДПМ

Рівняння стану для фазного струму двигуна мають вигляд:

$$\frac{di_a}{dt} = \frac{1}{L} v_a - i_a R_a - v_{e_a} - v_n \quad (2.12)$$

$$\frac{di_b}{dt} = \frac{1}{L} v_b - i_b R_b - v_{e_b} - v_n \quad (2.13)$$

$$\frac{di_c}{dt} = \frac{1}{L} v_c - i_c R_c - v_{e_c} - v_n \quad (2.14)$$

де, v_a, v_b і v_c - фазні напруги приводу,

R_a, R_b і R_c - опори фаз двигуна,

v_{e_a}, v_{e_b} і v_{e_c} - фазні напруги зворотної ЕРС,

v_n - напруга нейтральної точки (точка зірки).

Величина зворотної ЕРС зростає як функція швидкості двигуна і змінюється в залежності від положення ротора. Зворотна е.р.с. є характерною особливістю ПМСМ через її генераторні властивості. Коли двигун обертається, магніти, що обертаються на обмотках статора, створюють синусоїдальну напругу на обмотках. Ця напруга називається зворотною ЕРС. Величина напруги залежить від частоти обертання.

Через те, що крутний момент змінюється як функція струму і кута, система керування повинна вимірювати 3 фазні струми двигуна, а також електричний кут двигуна. Струм потрібно контролювати таким чином, щоб створювати максимальний крутний момент, досяжний при будь-якому заданому куті. Для цього потрібен синусоїдальний сигнал керування як функція виміряного кута.

Для досягнення такого вирівнювання фаз і отримання максимально досяжного крутного моменту зазвичай використовують зміну системи відліку зі стаціонарної системи А,В,С на так звану обертову систему відліку D,Q. Фактично, це перетворення системи координат, також відоме як перетворення Парка, перетворює (змінний) сигнал в постійний для зручності аналізу і управління. Іншою версією цієї матриці є інваріантна за потужністю матриця, показана в (2.15). В результаті такого перетворення (Т-матриця) сигнали автоматично розділяються на компоненти, що створюють максимальний крутний момент (вісь q), і компоненти, що створюють 0 (нульовий) крутний момент (вісь d). Перетворений струм осі d та осі q має вигляд:

$$\begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} \cos \theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin \theta & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{pmatrix} \quad (2.15)$$

Оскільки вісь d не створює крутного моменту, в ідеалі, вимірюваний і керований струм осі d повинен дорівнювати 0. Також, оскільки вісь q є віссю з

максимальним крутним моментом, струм осі q повинен дорівнювати фактично заданому струму.

Повна структурна схема моделі показана на рис. 2.7.

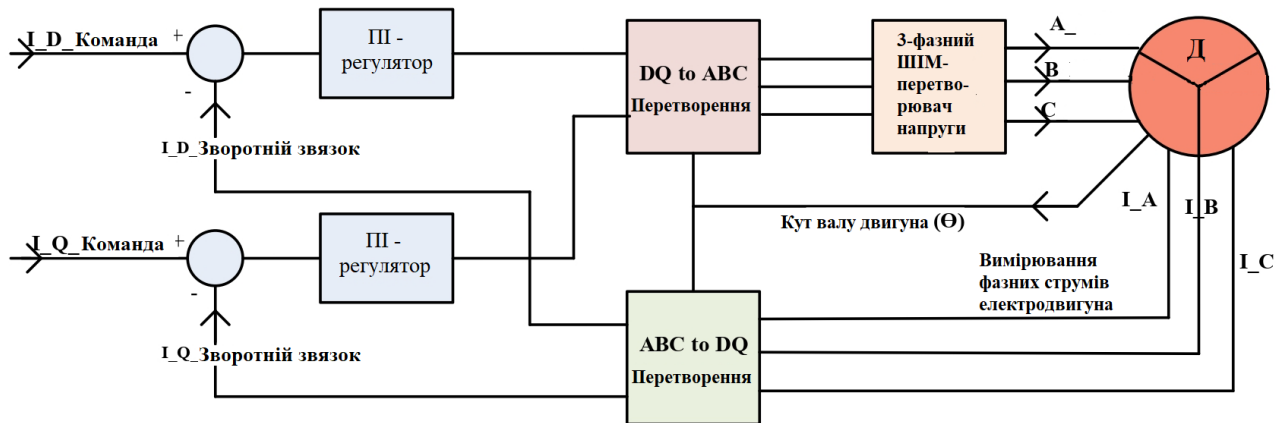


Рисунок 2.7 - Блок-схема регулювання струму в замкненому контурі

Ця топологія використовує метод регулювання струму в замкненому контурі з використанням ПІ-регулятора. Незалежні команди по осі d і осі q подаються і контролюються для того, щоб мінімізувати струм по осі q і контролювати струм по осі d до бажаного значення для створення крутного моменту. З цієї блок-схеми також видно, що для перетворення команд напруги DQ назад в опорну напругу ABC необхідно виконати зворотне перетворення, щоб керувати 3 фазними напругами двигуна. Фазну напругу в джерелі живлення ABC, використовуючи зворотне перетворення, подано як:

$$\begin{pmatrix} v_A \\ v_B \\ v_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_D \\ v_Q \end{pmatrix} \quad (2.16)$$

Це зворотне перетворення назад до системи відліку ABC дозволяє замкнути контур так, щоб трифазні напруги приводу могли досягти бажаних

рівнів для створення фазних струмів. Для цілей цього аналізу насичення двигуна та інші нелінійні ефекти ігноруються. З перетворення фазних струмів в d-q, що обертаються від нерухомої рами, динамічні рівняння стану можуть бути записані як

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{1}{L_d} v_d - i_d R_s + \omega_m L_q i_q \quad (2.17)$$

$$\frac{di_q}{dt} = \frac{1}{L_q} v_q - i_q R_s - \omega_m L_d i_d - \omega_m \lambda_m \quad (2.18)$$

а крутний момент двигуна можна обчислити як

$$T_e = \left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{P}{2}\right) \lambda_m i_q + L_d - L_q i_q i_d \quad (2.19)$$

де P - кількість полюсів у машині.

В даному випадку в моделюванні використовується 2-полюсний ($P=2$) двигун.

Еквівалентні схеми для наведених вище рівнянь показані на рис.2.8 нижче [14].

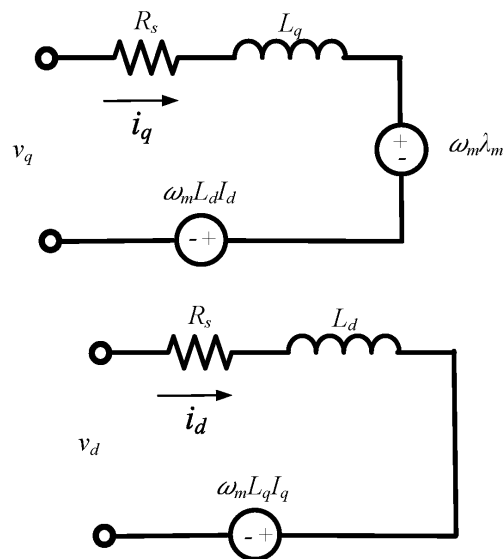


Рисунок 2.8 - Еквівалентна схема для СДПМ

2.2 Модель навантаження транспортного засобу

Навантаження на транспортний засіб може бути функцією багатьох змінних, включаючи аеродинаміку. Тут беремо до уваги параметри, які мають найбільший вплив на транспортний засіб з точки зору навантаження. Нижче наведено рівняння моделі навантаження автомобіля. Прискорююча маса автомобіля буде силою на колесах. Сила на колесах розраховується як (2.20).

$$f_{\text{колесо}} = M_T \frac{dv}{dt}, \quad (2.20)$$

де v - швидкість транспортного засобу,

M_T - повна маса, яка розраховується як $M_T = M_{\text{veh}} + M_{\text{tire}}$.

Крутний момент на колесах можна визначити за формулою (2.21).

$$T_{\text{колесо}} = r f_{\text{колесо}} = r M_T \frac{dv}{dt} = r M_T \frac{d r \omega_{\text{колесо}}}{dt} = r^2 \frac{d r \omega_{\text{колесо}}}{dt}, \quad (2.21)$$

де r - радіус колеса,

$\omega_{\text{колесо}}$ - швидкість обертання колеса.

Опір коченню шини визначається за формулою (2.22)

$$f_{rr} = \mu_{rr} M g, \quad (2.22)$$

де μ_{rr} - коефіцієнт опору коченню,

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}.$$

В'язкий опір коченню задається формулою (2.23).

$$f_d = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2, \quad (2.23)$$

де ρ - густина повітря $\rho = 1.2 \text{ кг/м}^3$,
 A - площа поперечного перерізу,
 C_d - коефіцієнт в'язкого опору.

Сила, зумовлена ефектом нахилу, визначається як $f_{\text{нахилу}} = M g \sin \theta$, де θ - кут нахилу. Для малих нахилів сила може бути апроксимована як $f_{\text{нахилу}} = M g \sin$, де гравітаційне прискорення $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$. Сила, зумовлена тертям підшипників задається $f_{\text{підшипн}} = \frac{k_b}{r} \omega$. Таким чином, повна сила може бути обчислена як (2.24).

$$F_T = f_{\text{колесо}} + f_{rr} + f_d + f_{\text{нахилу}} + f_{\text{підшипн}}. \quad (2.24)$$

Навантажувальний момент можна визначити за формулою $T_L = F_T r$, де r - радіус шини.

Нарешті, рівняння обертання автомобільної шини має вигляд (2.25).

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{T_e - T_{LOAD}}{J}, \quad (2.25)$$

де J , - момент інерції $\text{кг}\cdot\text{м}^2$,
 T_e - крутний момент від двигуна, Нм,
 ω - швидкість обертання шини в рад/с.

2.3 Баланс потужності та енергозбереження

Три складові розрахунку потужності - це вхідна потужність від акумулятора, вихідна потужність двигуна та потужність навантаження транспортного засобу. Вхідна потужність від акумуляторної батареї може бути розрахована за формулою (2.26)

$$P_i = v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c \quad (2.26)$$

У d-q системі відліку з використанням перетворення Парка це рівняння набуває вигляду (2.27).

$$P_i = \left(\frac{3}{2}\right) v_d i_d + v_q i_q \quad (2.27)$$

Вихідна потужність двигуна просто обчислюється як функція крутного моменту і швидкості двигуна (2.28).

$$P_{mo} = \tau_m \omega_m \quad (2.28)$$

Вихідну потужність транспортного засобу можна обчислити, використовуючи швидкість і повну силу (2.29).

$$P_v = V_s F_T \quad (2.29)$$

Для системи, яка не зберігає енергію, електрична потужність від акумуляторної батареї повинна бути сумою механічної потужності та втрат системи. Якщо модель двигуна без втрат приймається як модель першого порядку, то потужність двигуна буде дорівнювати вихідній потужності транспортного засобу. Це використовується в симуляції для того, щоб переконатися, що модель розроблена належним чином і що отримані результати є правильними.

Для акумулятора, однак, важливим є використання енергії. Використану енергію від акумулятора можна обчислити з потужності як $E_b \int_0^t P dt$. Основною метою цього дослідження є мінімізація використання енергії від акумулятора шляхом використання найоптимальніших передаточних чисел для приводу

двигуна. Результати моделювання покажуть, що вибір передаточного числа має значний вплив на кількість енергії, що використовується під час міського їздового циклу.

2.4 Коробка передач

Оскільки електродвигун розроблений так, щоб найбільш ефективно працювати на високих швидкостях, для приводу коліс автомобіля, які обертаються зі значно меншою швидкістю, ніж електродвигун, зазвичай потрібне передавальне відношення. Проблема, яка виникає у випадку гібридної силової установки, полягає в тому, щоб знайти найкращі передаточні числа і розташування передач, які дозволять подолати більший пробіг з найменшим використанням електроенергії від акумулятора. Проблема мінімізації споживання палива залежить від декількох факторів, таких як передаточне число, крутний момент двигуна протягом усього циклу. При правильному виборі передаточних чисел можна досягти мінімуму споживання енергії, що призведе до максимального пробігу. Приклад коробки передач для передачі потужності показаний на рис. 2.9.

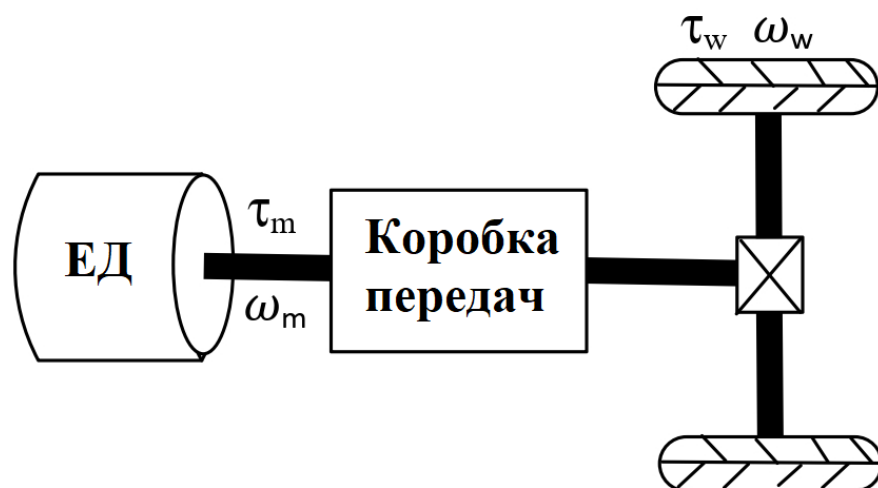


Рисунок 2.9 - Привід від двигуна до коліс за допомогою коробки передач

Редуктор дозволяє осі обертатися з меншою швидкістю, збільшуючи крутний момент і отримуючи при цьому повну потужність від двигуна. Оскільки двигун може обертатися з високою швидкістю, передавальне відношення дозволяє двигуну обертатися з низьким крутним моментом. Математично це можна показати так

$$P = \tau_m \omega_m = \tau_w \omega_w = \tau_w \left(\frac{\omega_m}{G} \right), \quad (2.30)$$

де ω_w - швидкість колеса,

τ_w - крутний момент на колесі,

G - передавальне число.

Більшість електромобілів наразі використовують 1-2 передачі для максимізації ефективності двигуна, проте багато гібридів не використовують жодної передачі взагалі. Ця модель працює, але не дозволяє використовувати менший за розміром та ефективніший двигун.

Було проведено дослідження конструкції незалежно керованої трансмісії з метою пошуку конфігурацій планетарних передач для різних передаточних чисел в заданому діапазоні.

Передаточне число можна визначити як співвідношення між вхідною швидкістю двигуна та вихідною швидкістю транспортного засобу. Змінюючи з'єднання між планетарними передачами, можна отримати багато можливостей для досягнення ефективності транспортного засобу.

В іншому практичному дослідженні було використано стохастичний метод, в якому їздовий цикл був апроксимований за допомогою ланцюга Маркова замість попередніх знань. Цей метод було застосовано до паралельної гібридної силової установки, і результати показали значне скорочення використання електроенергії від акумулятора [15]. Вхідні дані, які варіювалися, були передавальними числами і розподілом потужності. Були використані різні передаточні числа, які показали, що вибір найкращої комбінації передаточного

числа може зменшити використання електроенергії від акумулятора і може призвести до збільшення пробігу.

Наведений вище аналіз показує, що вибір правильного передаточного числа може бути корисним для ефективного використання потужності приводу і мінімізації споживання енергії від джерела живлення. За допомогою моделювання тягового приводу з використанням міського їздового циклу можна визначити оптимальні передаточні числа. Мета наступного етапу - показати, що передаточні числа можуть бути використані для використання менших високошвидкісних двигунів. Крім того, оптимізація передаточних чисел може бути корисною для економії енергії під час руху, що дозволить отримати більший пробіг від одного заряду батареї.

2.5 Висновки до розділу

1. Проведено аналіз експлуатаційних характеристик тягового електричного акумулятора. Встановлено, що для забезпечення максимального пробігу на одному заряді акумулятора дуже важливо, щоб система керування керувала автомобілем і системою приводу двигуна максимально ефективно.

2. Описано роботу електроприводу електроавтомобіля, його математичну модель та систему регулювання струму з використанням ПП-регулятора.

3. Отримано рівняння моделі навантаження автомобіля.

4. Для системи, яка не зберігає енергію, електрична потужність від акумуляторної батареї повинна бути сумою механічної потужності та втрат системи. Якщо модель двигуна без втрат приймається як модель першого порядку, то потужність двигуна буде дорівнювати вихідній потужності транспортного засобу. Це використовується в симуляції для того, щоб переконатися, що модель розроблена належним чином і що отримані результати є правильними.

5. Оскільки електродвигун розроблений так, щоб найбільш ефективно працювати на високих швидкостях, для приводу коліс автомобіля, які обертаються зі значно меншою швидкістю, ніж електродвигун, зазвичай потрібне передавальне відношення. Проблема, яка виникає у випадку гібридної силової установки, полягає в тому, щоб знайти найкращі передаточні числа і розташування передач, які дозволять подолати більший пробіг з найменшим використанням електроенергії від акумулятора.

6. Більшість електромобілів наразі використовують 1-2 передачі для максимізації ефективності двигуна, проте багато гібридів не використовують жодної передачі взагалі. Ця модель працює, але не дозволяє використовувати менший за розміром та ефективніший двигун.

7. Наведений у цьому розділі аналіз показує, що вибір правильного передаточного числа може бути корисним для ефективного використання потужності приводу і мінімізації споживання енергії від джерела живлення.

8. За допомогою моделювання тягового приводу з використанням міського їздового циклу можна визначити оптимальні передаточні числа.

9. Оптимізація передаточних чисел може бути корисною для економії енергії під час руху, що дозволить отримати більший пробіг від одного заряду батареї.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Системне моделювання

Імітаційна модель була розроблена на основі теоретичних розрахунків, наведених вище. П'ятьма основними частинами загальної моделі є модель двигуна, модель транспортного засобу, модель коробки передач, модель блоку управління, а також розрахунок балансу потужності та енергії. Повна високорівнева модель системи показана нижче на Рисунку 3.1. Чотирма основними блоками, які були розроблені як частина загальної моделі, є блок керування, модель двигуна, модель коробки передач і модель навантаження транспортного засобу. Деталі цих блоків обговорюються в наступних розділах. Блок "потужність-енергія" просто використовується для обчислення та зберігання вхідної та вихідної потужності та енергії під час їздового циклу.

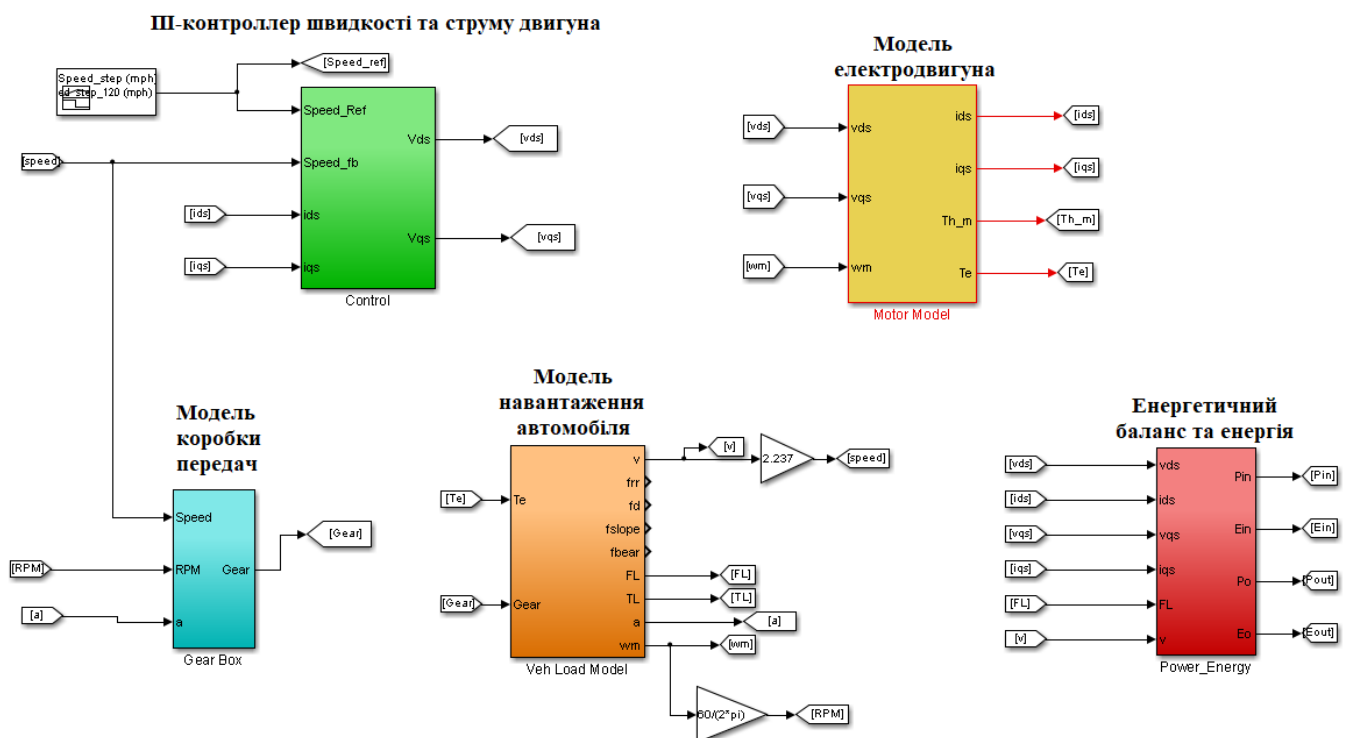


Рисунок 3.1 - Блок-схеми моделі системи

3.2 Моделювання двигуна

Модель двигуна СДПМ була розроблена на основі рівнянь стану в d-q системі координат. Це дозволяє легше контролювати струми. Модель використовує перетворені змінні Парка в d-q системі відліку. Модель двигуна показано нижче на рисунку 3.2:

Модель синхронного двигуна з постійними магнітами

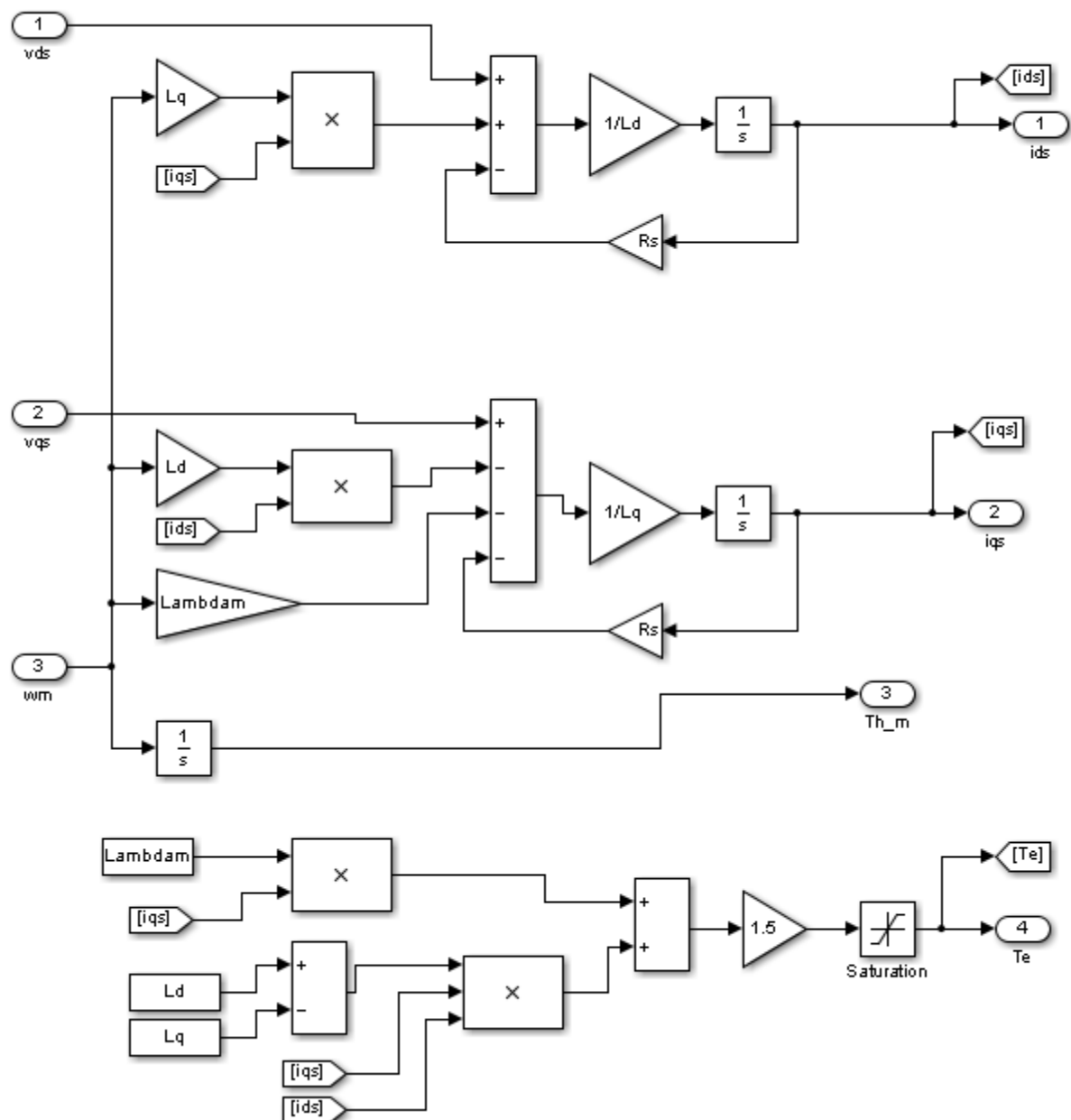


Рисунок 3.2 - Імітаційна модель СДПМ

Модель (рис. 3.2), розроблена в Simulink, базується на рівняннях стану (2.17), (2.18) і (2.19). Ці рівняння можуть бути змодельовані за допомогою

таких блоків, як інтегратор, підсумовуючий перехід, множники та дільники, щоб представити повне рівняння стану. Наприклад, i_{ds} - це вихід стану, L_d , L_q і R_s - параметри двигуна, які є константами, а v_{ds} і i_{qs} - входи.

3.3 Моделювання керування

Регулятори типу пропорційно-інтегрального диференціатора (ПІД) є досить поширеними в промисловості. Ця модель використовує простий контур керування на основі ПІ для регулювання швидкості транспортного засобу. Крім того, струм по осі q можна контролювати в цьому ж контурі. Струм осі d контролюється до нуля "0" ампер, оскільки тільки струм осі q створює крутний момент. Коефіцієнти підсилення, K_p і K_i , були обрані таким чином, щоб забезпечити критично затухаючу реакцію на ступінчастий вхід, а також розумну похибку в усталеному режимі менше 2%. Ця модель складається з підсилювачів, інверторів та всіх інших важливих функцій, які використовуються в системах керування для перевірки стабільності та характеристик моделі.

3.4 Моделювання зубчастих передач

Основна мета моделювання - знайти комбінацію передаточних чисел, які забезпечують найбільш енергоефективний приводний цикл і найбільший можливий пробіг. Для базової моделі номінальні передаточні числа були обрані таким чином, щоб трансмісія могла створювати достатній крутний момент для приведення автомобіля в рух, а також генерувати і передавати достатню потужність на колеса. Для того, щоб знайти оптимальне передавальне число для найнижчого споживання енергії, було використано діапазон для кожної передачі. Діапазон передач був обраний таким чином, щоб забезпечити достатній крутний момент і потужність для приведення автомобіля в рух в умовах навантаження приводного циклу.

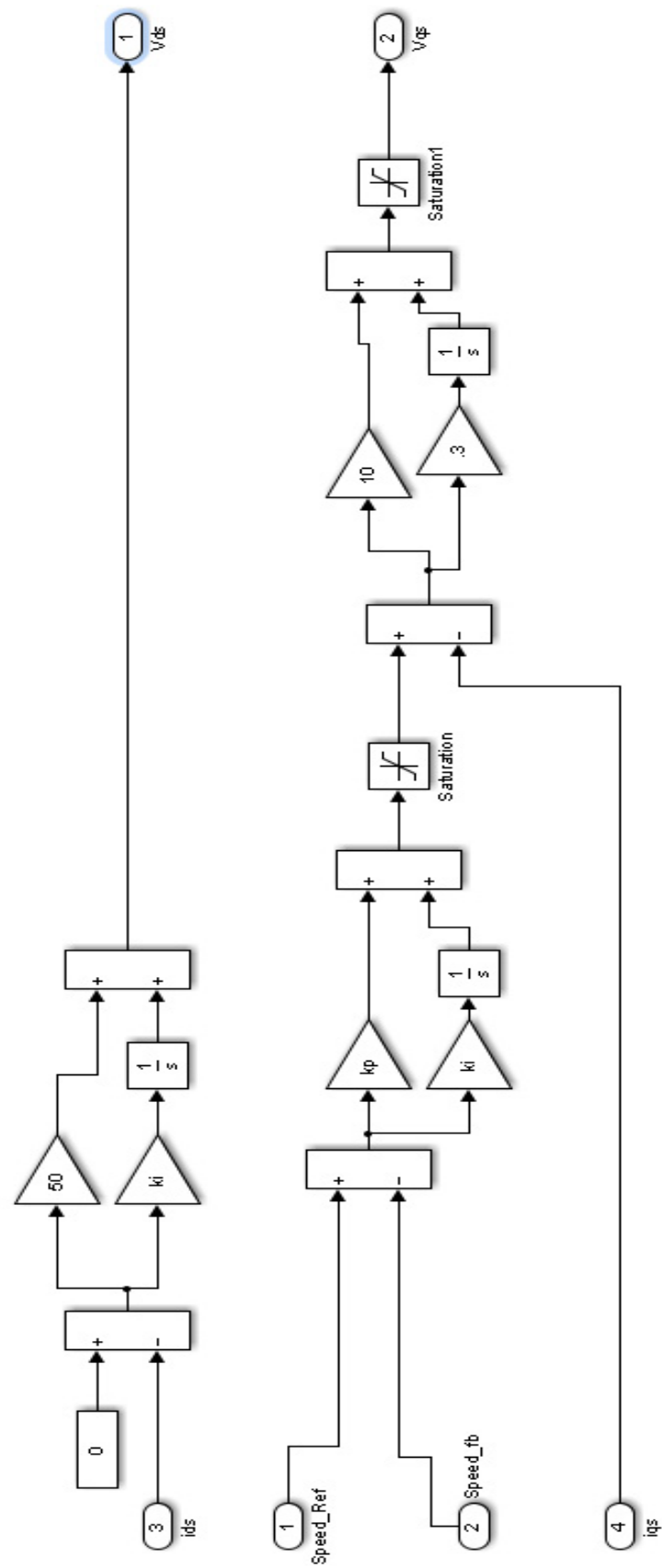


Рисунок 3.3 - ПІ-контролер для швидкості та струму двигуна

Моделювання було налаштоване на використання випадкових цілих чисел в межах діапазону для кожної передачі та визначення енергії, що використовується під час їздового циклу.

Таблиця 3.1 - Передаточні числа

Передача	Номінальне передавальне число	Діапазон моделювання передавального числа
G1	16	9 - 20
G2	8	4 - 15
G3	5	2 - 7
G4	3	1 - 4

Модель автомата для цього перемикавання передач, що використовується в симуляції, показана на рис. 3.4. Тут ми використовуємо модель, щоб переконатися, що швидкість двигуна не перевищує його номінальну швидкість 5000 об/хв. Модель дозволяє як перемикавання на вищу передачу під час прискорення, так і на нижчу під час уповільнення.

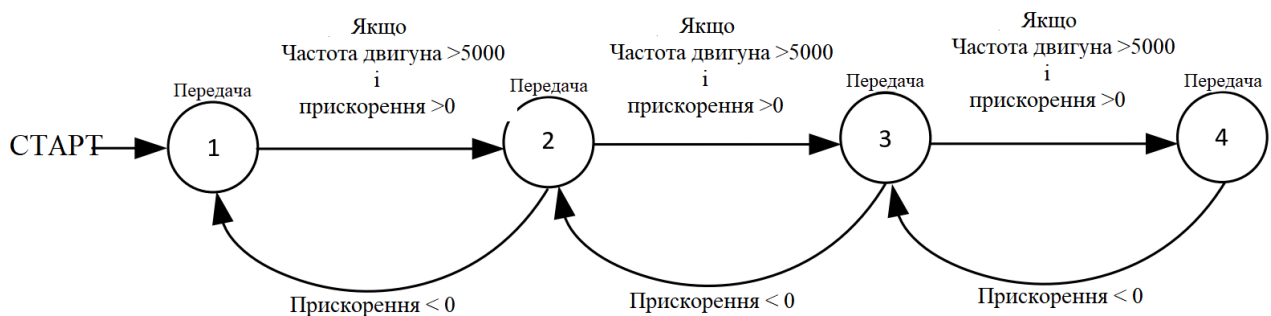


Рисунок 3.4 - Алгоритм перемикавання передач

3.5 Моделювання навантаження

Модель навантаження транспортного засобу була розроблена на основі ключових параметрів транспортного засобу та умов навколишнього середовища. Вага транспортного засобу 1500 кг була використана на основі

середніх показників парку легкових автомобілів, опублікованих Національною адміністрацією безпеки дорожнього руху (NHTSA). Деякі з інших ключових параметрів наведені в таблиці 3.2. Хоча коефіцієнт в'язкого опору залежить від аеродинаміки автомобіля, було використано середнє значення 0,5. Багато старих моделей автомобілів мали б більше значення від 0,6 до 0,9, а новіші автомобілі завдяки кращій формі передньої частини мали б значення в діапазоні від 0,25 до 0,4. Повна модель навантаження транспортного засобу, розроблена в Simulink і показана на рис.3.5, базується на рівняннях, розроблених в розділі 2.2.

Таблиця 3.2 - Параметри моделі навантаження

Параметр	Значення	Одиниця
Вага транспортного	1500	кг
Шини та деталі, що обертаються	50	кг
A_{Front}	3.7	m^2
C_d	0.5	
$f_{шини}$	0.3	м
Коефіцієнт втрати ваги шини	0.01	

3.6 Моделі дорожніх циклів як вхідні дані

Для моделювання було використано два типи вхідних даних про швидкість як еталонні. По-перше, ступінчасті вхідні дані для швидкості транспортного засобу використовуються для того, щоб переконатися, що модель поводить ся так, як очікується, і що її реакція є точною і стабільною. По-друге, динамічний графік міського руху (ДГМР) використовується як основа для оцінки загальної ефективності системи з точки зору енергоефективності. ДГМР зазвичай використовується EPA як еталонний профіль водіння для тестування паливної економічності для легкових автомобілів.

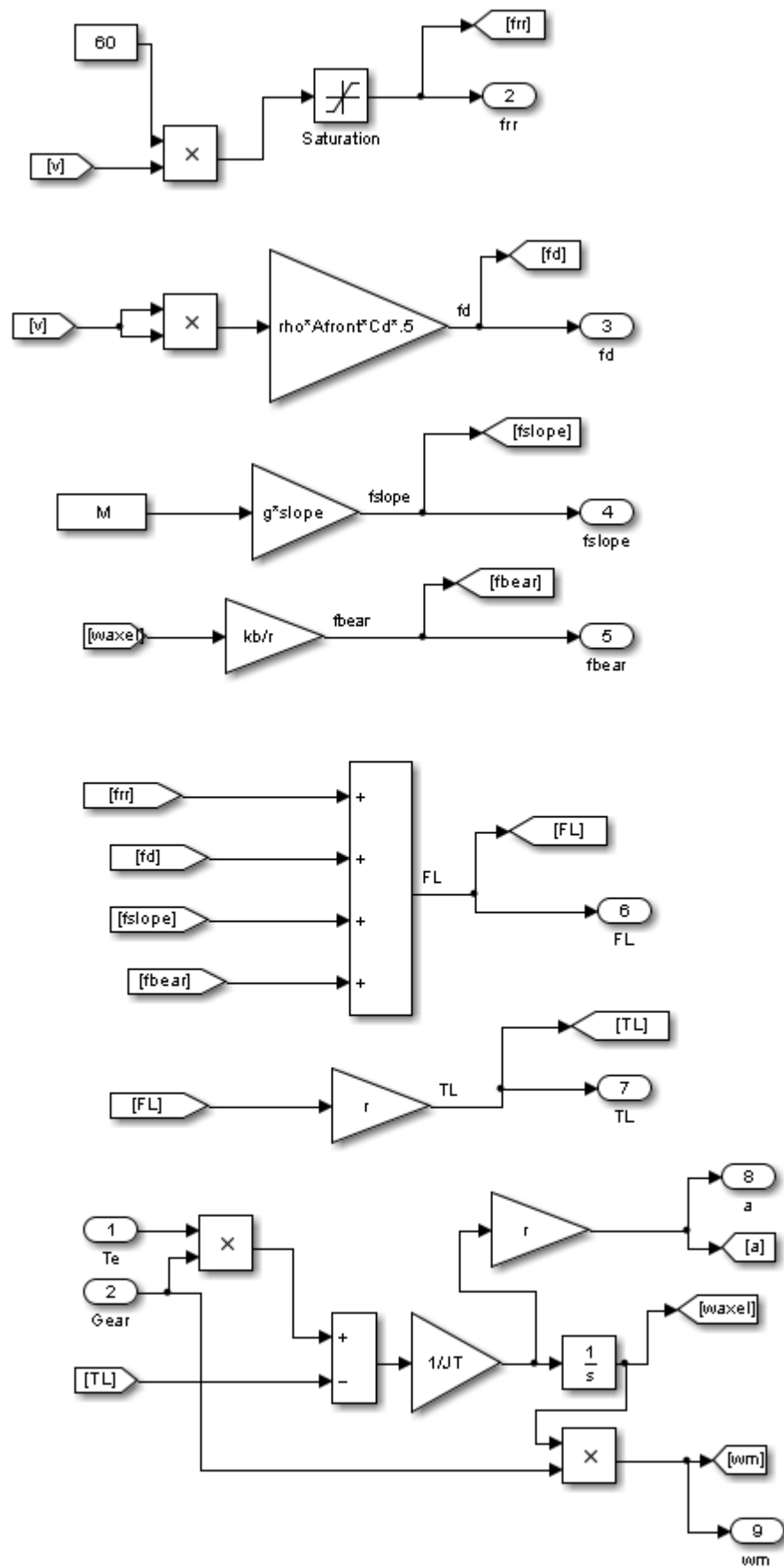


Рисунок 3.5 - Модель навантаження на транспортний засіб

Щоб зрозуміти поведінку моделі системи та елементів керування, було використано ступінчастий вхід. Це дозволяє налагодити модель, а також точно налаштувати параметри, щоб забезпечити очікувану поведінку на виході. Крок у 70 миль/год використовувався як вхідний сигнал швидкості для цього тестового прикладу, щоб показати реакцію системи.

Для оцінки ефективності транспортних засобів автомобільна промисловість та державні органи проводять стандартні випробування, які називаються стандартними їзовими циклами, на основі яких видаються сертифікати паливної економічності транспортних засобів. Функціональність стандартних їзових циклів така, що вони включають в себе як дорожній, так і швидкісний компоненти.

Одним із найпоширеніших стандартних тестів є динамічний графік міського руху (ДГМР), в якому їзовий цикл долає відстань у 7,5 миль за 1369 секунд із середньою швидкістю 19,6 миль на годину. Протягом цих 7,5 миль автомобіль має часті зупинки та старти. Цей параметр також було взято за вхідні дані для моделювання. На рисунку 3.6 показано профіль швидкості в залежності від часу. Кожен транспортний засіб повинен функціонувати відповідно до наступного графіка. Це перехідні цикли руху, в яких швидкість сильно змінюється через дорожні умови.

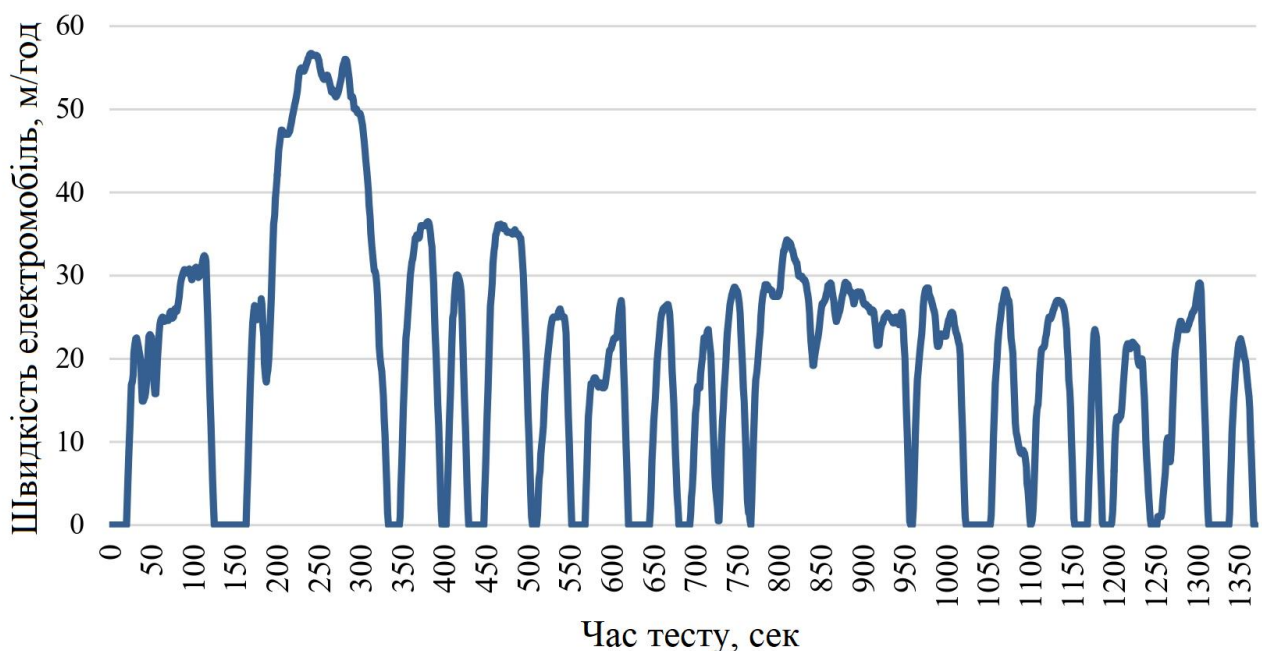


Рисунок 3.6 Графік залежності швидкості від часу ДГМР

На графіку показано залежність швидкості автомобіля від часу. Це стандартні їздові цикли, якими повинен бути протестований кожен транспортний засіб. Модель, представлена в цій дипломній роботі, була змодельована за допомогою цього їздового циклу ДГМР.

3.7 Результати моделювання

3.7.1 Результати швидкості та крутного моменту для ступінчастого входу

Одним з найкращих способів тестування системи керування є введення ступінчастої функції. Розуміння реакції системи на ступінчасте введення важливо для того, щоб визначити, наскільки добре система спроектована і налаштована. Система реагує двома способами - перехідною реакцією та реакцією в усталеному стані.

У цьому моделюванні швидкість транспортного засобу використовувалася як ступінчастий вхідний сигнал не тільки для визначення параметрів системи при налаштуванні контуру ПД, але й для початкової оптимізації передаточних чисел. Кроковий відгук системи показано на рис. 3.7. Кроковий відгук показує час встановлення та похибку сталого режиму контуру регулювання системи. Час встановлення показує, скільки часу потрібно автомобілю, щоб досягти бажаної швидкості. На рисунку нижче показано, що час встановлення становить 20 секунд, за цей час досягається стаціонарний стан заданого сигналу. Спочатку крутний момент, вироблений двигуном, є високим через низьку швидкість. Прискорення спочатку зростає, оскільки транспортний засіб стартує з нульової швидкості. Коли швидкість досягає стаціонарного стану, прискорення зменшується до нуля. Ця симуляція також показує, що результуюча швидкість транспортного засобу досягла бажаної базової швидкості з низькою похибкою і без помітного перевищення. Як

обговорювалося раніше, це важливо для підтвердження того, що коефіцієнти підсилення ПІ було обрано правильно.

в)

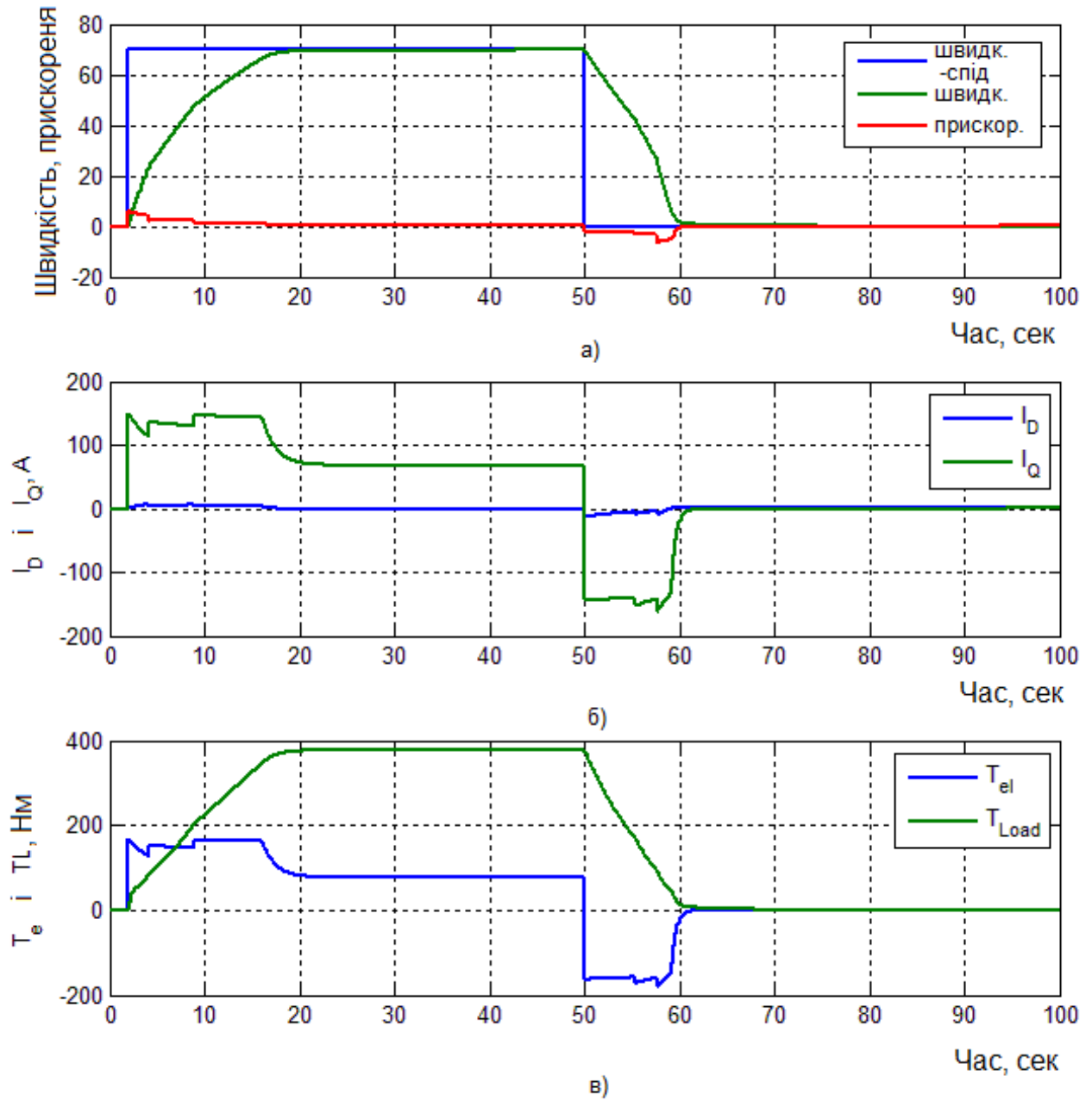


Рисунок 3.7 - Кроковий відгук системи

- а) швидкість автомобіля, прискорення,
- б) струм двигуна,
- в) крутний момент

На рис. 3.8 показано профіль потужності та енергії, коли використовується ступінчастий вхідний сигнал. Спочатку вхідна потужність, що споживається від акумулятора, є високою, що пов'язано з початковою високою вимогою до навантаження, головним чином через необхідне прискорення. Двигун повинен забезпечити потужність для подолання цієї сили, і рівномірно пропорційна потужність споживається від акумулятора. Коли швидкість транспортного засобу досягає стаціонарного стану, прискорення стає нульовим і вхідна та вихідна потужність стають теоретично рівними. Аналогічна реакція спостерігається і у випадку з вхідною та вихідною енергією. Максимальна вихідна потужність у цьому випадку становить близько 40 кВт.

У той час, коли задана вхідна швидкість дорівнює нулю, система переходить у так званий режим рекуперативного гальмування. Тут механічна система повертає енергію в батарею в той час, коли транспортний засіб сповільнюється, і швидкість падає до нуля. Це чітко видно на графіку як від'ємна вхідна потужність.

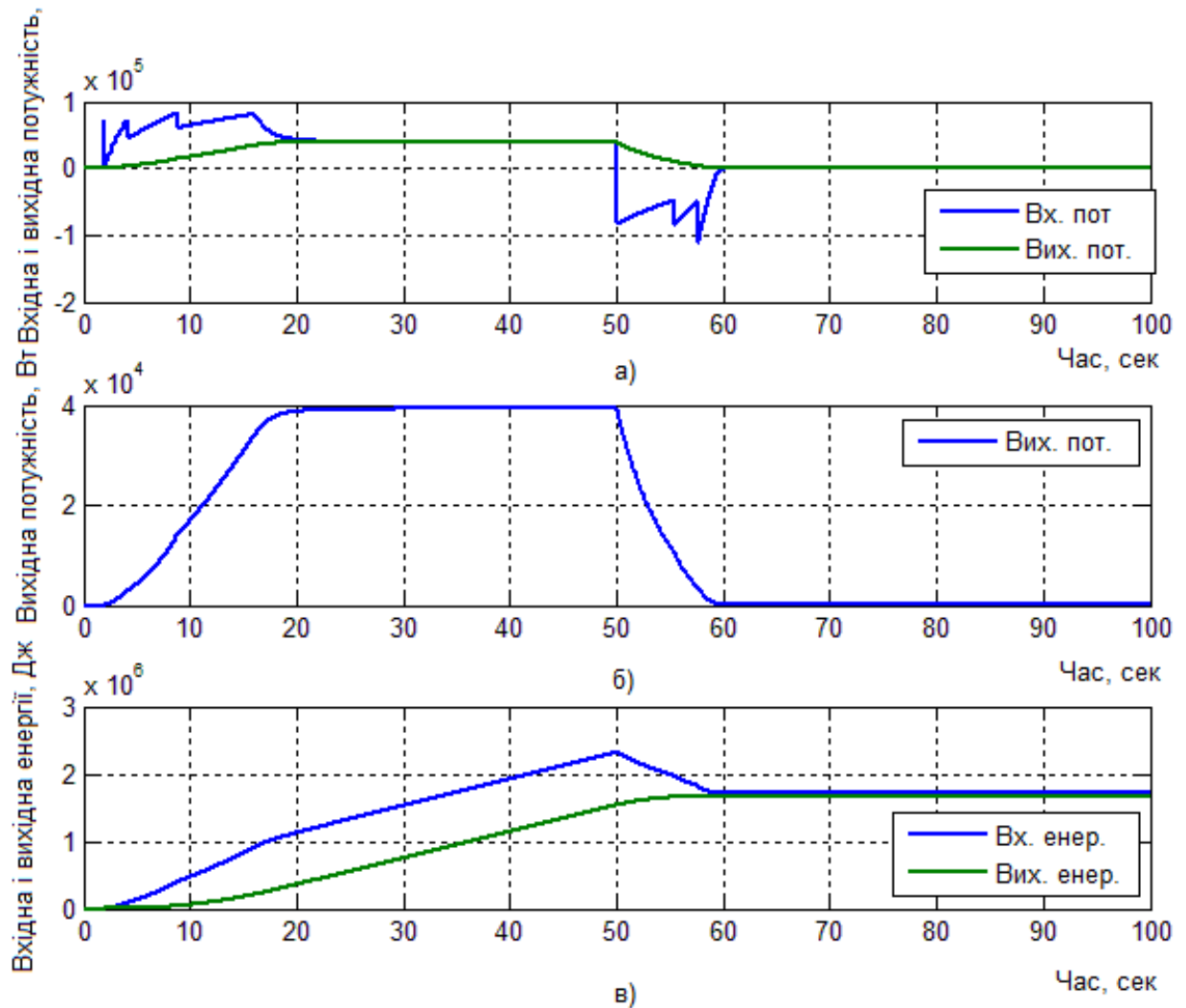


Рисунок 3.8 - Ступінчаста реакція системи

- а) вхідна потужність, вихідна потужність,
- б) збільшена вихідна потужність,
- в) вхідна енергія, вихідна енергія

Результати, отримані при використанні ступінчастої одиничної функції як вхідного сигналу, відповідають системі керування. Система працює добре, коли на вхід подається ступінчаста функція.

Потім було проведено більш глибокий аналіз впливу передаточних чисел на крутний момент і потужність на колесах. Результати цього аналізу показані на рисунку 3.9. Цей графік чітко показує, що автомобіль може забезпечити високе тягове зусилля на 1-й передачі. На 4-й передачі автомобіль також підтримує прийнятну максимальну швидкість. Це добре узгоджується з

часовим моделюванням, показаним раніше, із заданою швидкістю 70 миль/год. Автомобіль досягав і утримував цю швидкість на 3-й передачі в сталому режимі. Хоча в сталому режимі на швидкості 70 миль/год. було потрібно лише 40 кВт потужності, цей тяговий привід здатний розвивати потужність до 90 кВт.

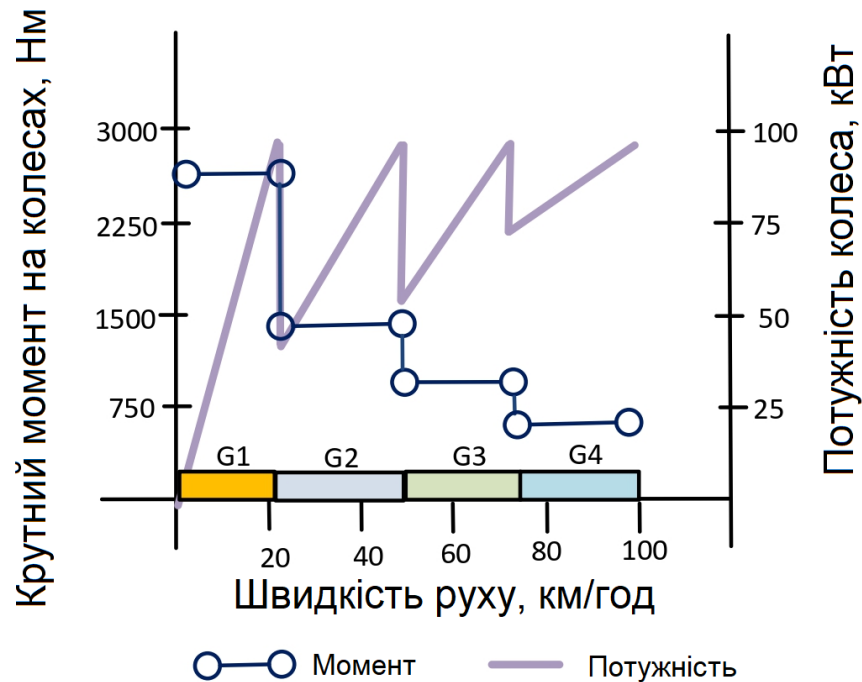


Рисунок 3.9 - Тяга транспортного засобу з 4-ступінчастою коробкою передач

3.7.2 Результати моделювання з використанням ДГМР

У цій частині моделювання ДГМР застосовується як вхідні дані, а результати фіксуються. Характеристики цих стандартних циклів були пояснені в підрозділі 3.6. Кожен транспортний засіб повинен функціонувати відповідно до характеристик стандартного графіка ДГМР, щоб відповідати стандартам ЕРА. Це перехідні цикли руху, в яких швидкість сильно змінюється залежно від дорожніх умов. Нижче наведено результати, отримані після моделювання. Швидкість транспортного засобу контролювалася відповідно до еталонної швидкості ДГМР, яку можна побачити на рис.3.10.

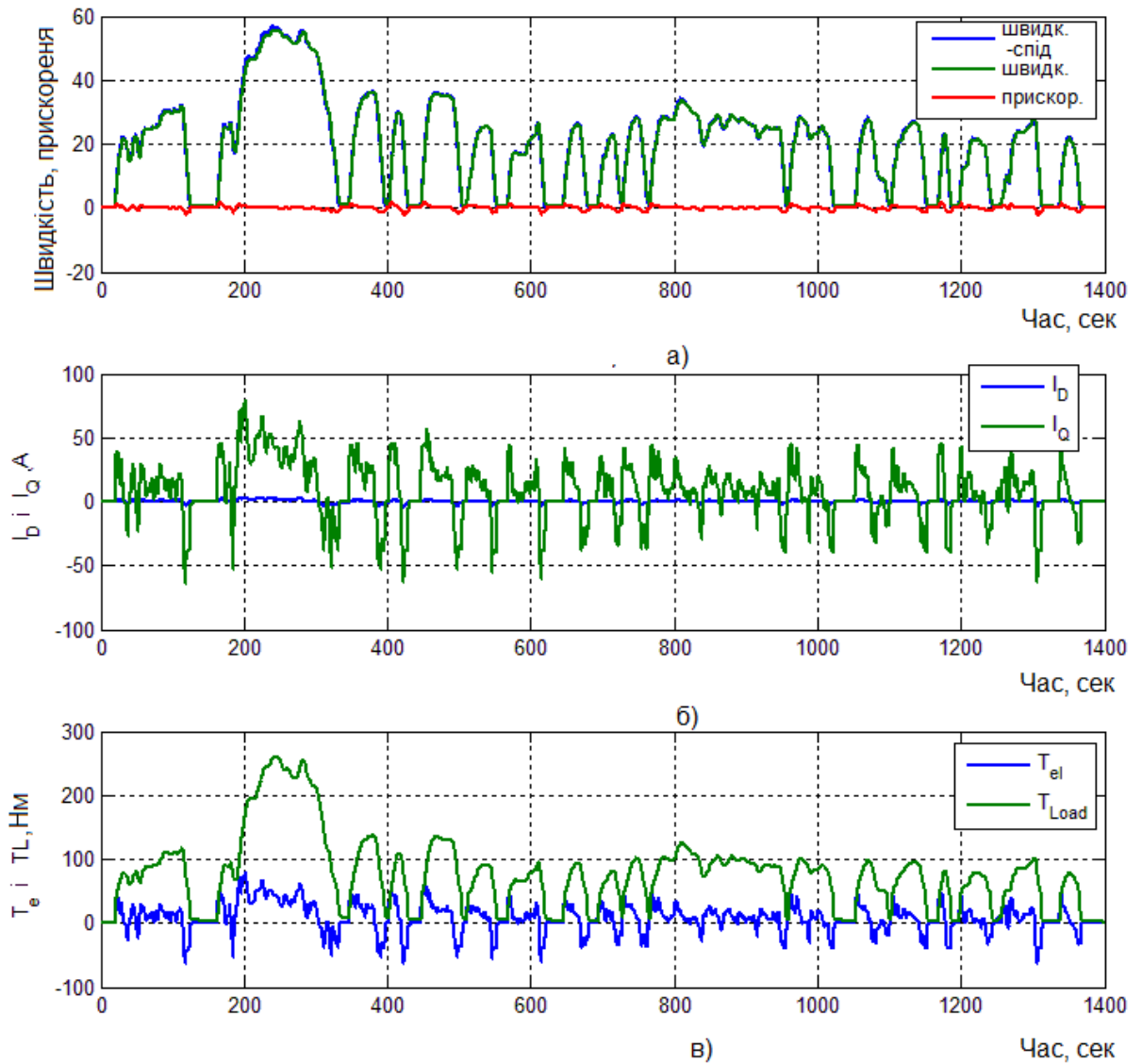


Рисунок 3.10 - Реакція системи з ДГМР

- а) Швидкість транспортного засобу,
- б) Струми,
- в) Крутний момент двигуна і крутний момент навантаження

Як видно з графіка, модель спрацювала, як і очікувалося. Вихідна швидкість точно відповідає заданій вхідній швидкості з дуже низькою похибкою в усталеному режимі і хорошим часом відгуку.

Крутний момент також показано на рисунку 3.10. На графіку видно, що в точках, де гібридний електромобіль сповільнюється, крутний момент на графіку стає від'ємним. Цей графік показує, що система управління працює

правильно і необхідний крутний момент в запропонованій моделі досягається належним чином.

На рис. 3.11 показано профіль потужності та енергії ГЕМ.

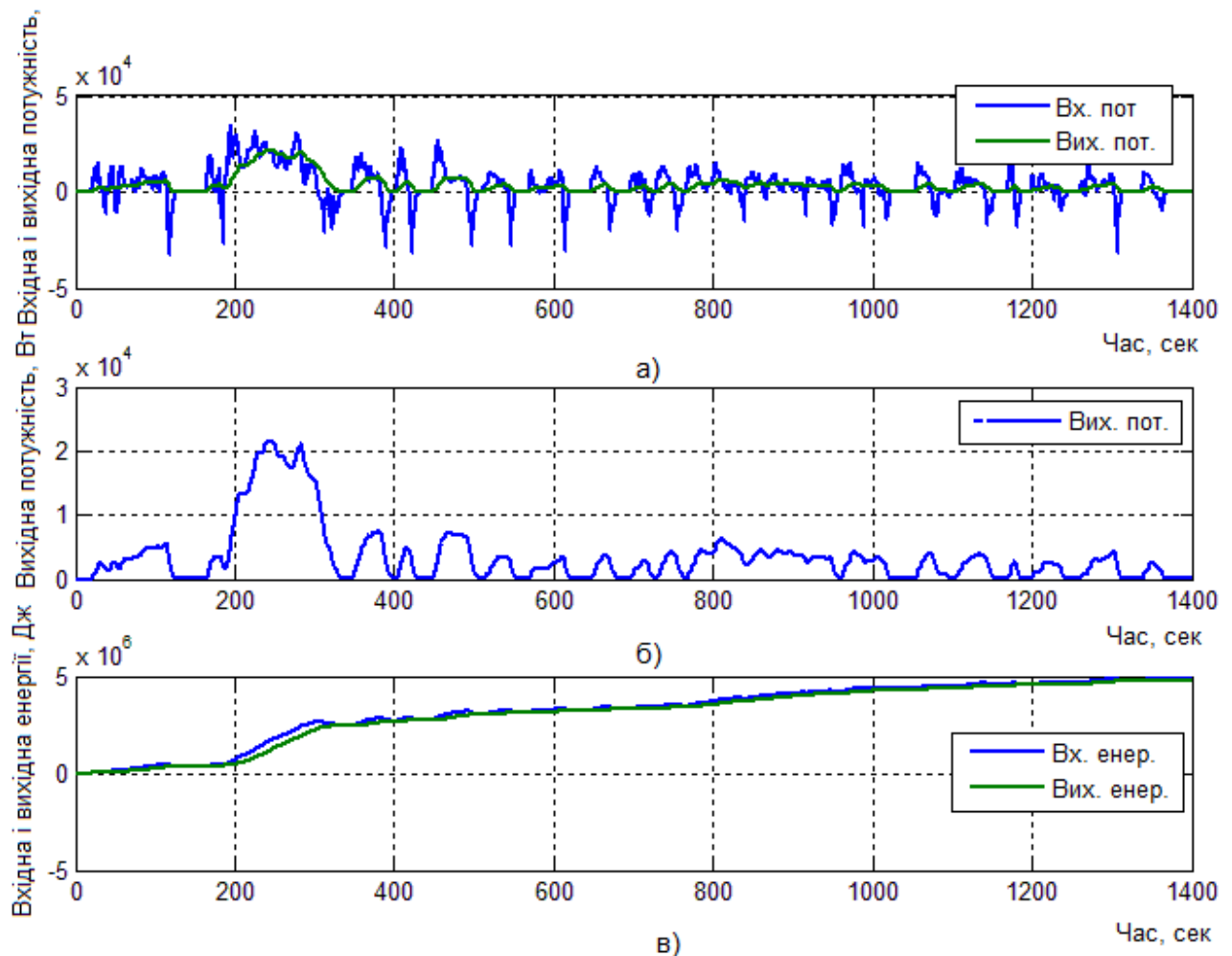


Рисунок 3.11 - Реакція системи з ДГМР

- а) вхідна потужність, вихідна потужність,
- б) вхідна потужність збільшена,
- в) вхідна енергія, вихідна енергія

Вихідна потужність - це потужність, яка передається на колесо, а вхідна потужність - це потужність, яка споживається від акумулятора. На рисунку також показано, що вхідна потужність змінюється, оскільки іноді вона є від'ємною, діючи як генератор, а іноді - позитивною, подаючи енергію на транспортний засіб, як це відбувається відповідно до систем управління. Точки на графіку, де швидкість наближається до нуля, знову показують поведінку під

час рекуперативного гальмування і повторного захоплення частини енергії в цей період часу. Енергія, яка подається на транспортний засіб, повністю використовується з точки зору балансу потужності. Енергетична система працює відповідно до циклу ДГМР.

3.8 Оптимізація передаточних чисел

Як обговорювалося в розділі 3.4, моделювання було налаштоване на випадкові передаточні числа для кожної передачі в межах заданого діапазону. Всього було виконано 200 (по 50 для кожної передачі) тестових випадків. Кінцеві значення використання енергії зберігалися для кожного випадку передаточних чисел. Моделювання 200 випадків дозволяє нам визначити найкращі передаточні числа для мінімізації використання енергії. Результати фіксувалися для кожного прогону і будувалися графіки, щоб показати вхідну енергію і вихідну енергію як функцію передаточних чисел. Мінімальні значення вхідної енергії від акумулятора можуть бути визначені за допомогою комбінації різних передаточних чисел. Результати моделювання показані як для циклу Step Input, так і для циклу ДГМР на наступних рисунках. Результати показують ефективність запропонованого методу, який стверджує, що різні комбінації передач можуть відігравати важливу роль у визначенні ефективності використання енергії від акумулятора.

На рис. 3.12 та рис. 3.13 показано графік результатів покрокового моделювання. На рисунку рис. 3.12 показано вхідну енергію, тобто енергію від джерела (акумулятора), як функцію випадків для комбінацій передаточних чисел. На рис. 3.13 показано різні комбінації передач для G1, G2 та G3 і G4. Дані також відсортовано в порядку від найменшого значення ENERGYIN до найбільшого.

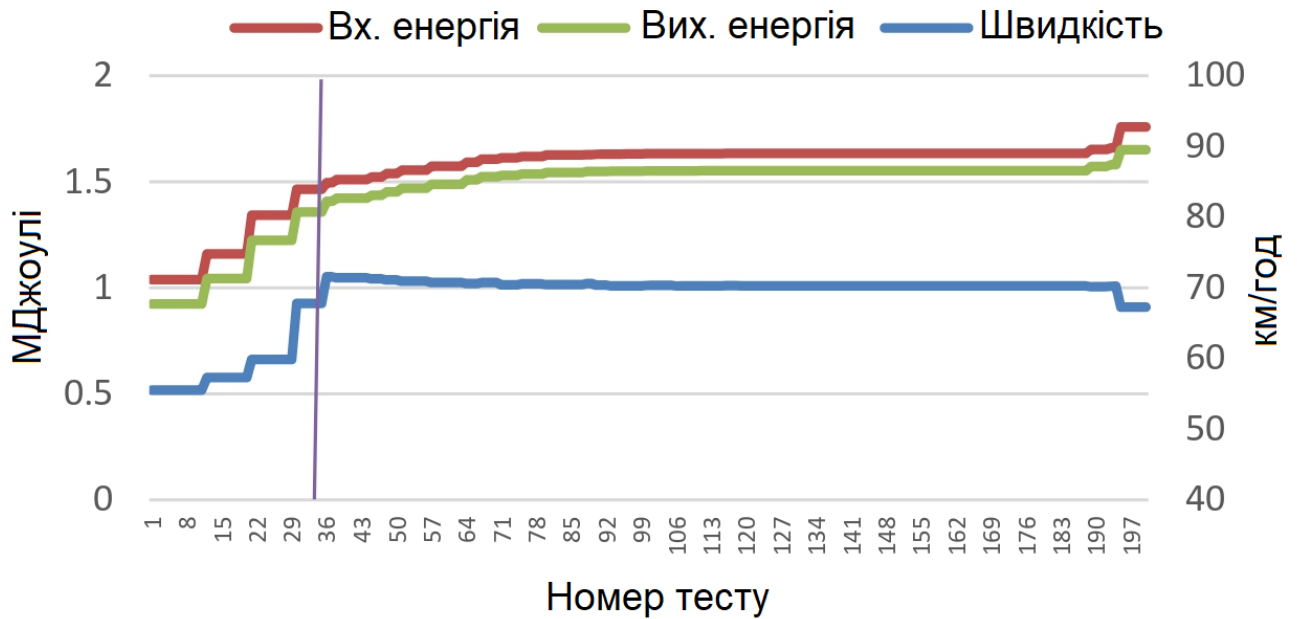


Рисунок 3.12 - Відсортовані результати тестів з відображенням вхідної енергії, вихідної енергії

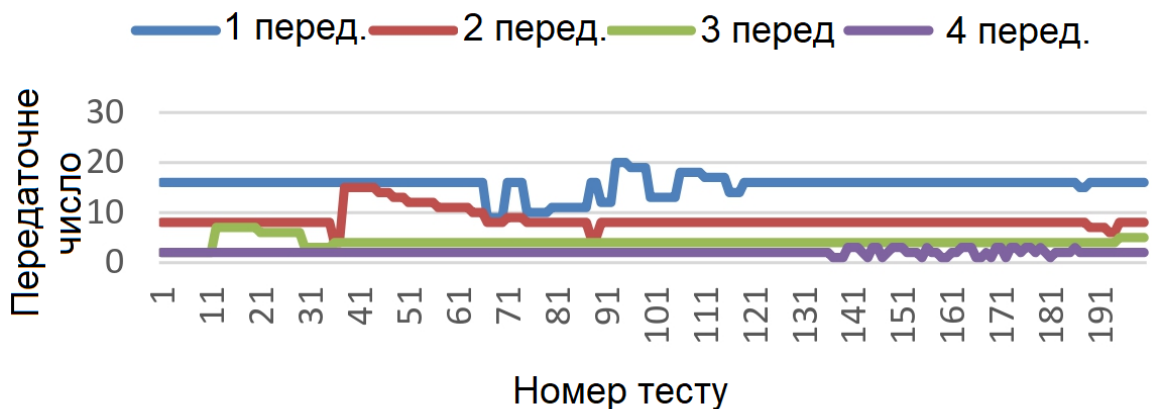


Рисунок 3.13 - Комбінація передаточних чисел у порівнянні з тестовими прикладами з покроковим введенням

Цей тест із ступінчастим введенням був запущений як швидка перевірка для визначення впливу передаточних чисел на споживану енергію. Тільки одна передача змінювалася випадковим чином, тоді як інші залишалися постійними на номінальних значеннях. Мінімальна енергія на графіку, отримана від акумулятора, становить близько 1 МДж. Однак швидкість, для цього випадку, не досягла бажаної контрольної точки. Це свідчить про те, що не всі можливі комбінації будуть працювати для створення належного крутного моменту, щоб

автомобіль міг працювати в умовах жорстких вимог. Основна гіпотеза, однак, доведена: споживання енергії суттєво змінюється залежно від передаточних чисел. Якщо комбінація передаточних чисел не використовується належним чином, вхідна енергія може збільшитися, і система приводу не буде працювати в найбільш ефективній точці.

Аналогічне окреме моделювання було проведене з введенням приводного циклу ДГМР. Це моделювання мало на меті знайти фактичну енергію, що використовується під час приводного циклу ДГМР, в той час як всі комбінації передаточних чисел були випадковим чином обрані в межах їх діапазонів. Результати моделювання на основі ДГМР показані на рис. 3.14. Енергія зображена як функція від комбінації передаточних чисел. Результати відсортовані і показані зі збільшенням ENERGYIN від низького до високого значення. Вибір відповідного передаточного числа має дуже важливий вплив на вхідну енергію. Це показує, що можна вибрати найкращу комбінацію передаточних чисел, щоб мінімізувати використання енергії від акумулятора.

Результати моделювання показують, що вибір передаточного числа є дуже потужним механізмом в системі приводу електромобіля для максимізації продуктивності. На основі симуляції ДГМР для декількох випадків спостерігається, що споживання енергії від джерела може змінюватися від мінімального значення 4,95 МДж до максимального 5,55 МДж, тобто збільшуватися на 12 %. Це значна економія енергії для транспортного засобу під час поїздки типу ДГМР, оскільки все більше пасажирів обирають електромобілі та ПГС для поїздок містом.

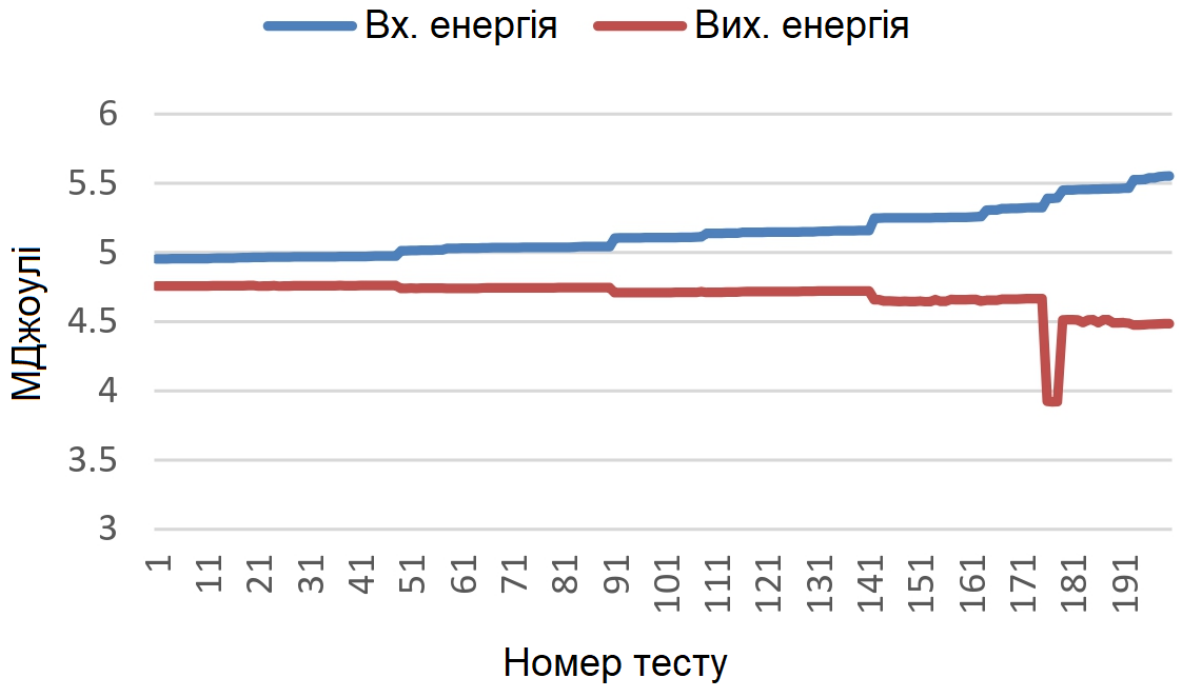


Рисунок 3.14 - Відсортовані тестові кейси з ДГМР
для вхідної енергії , вихідної енергії

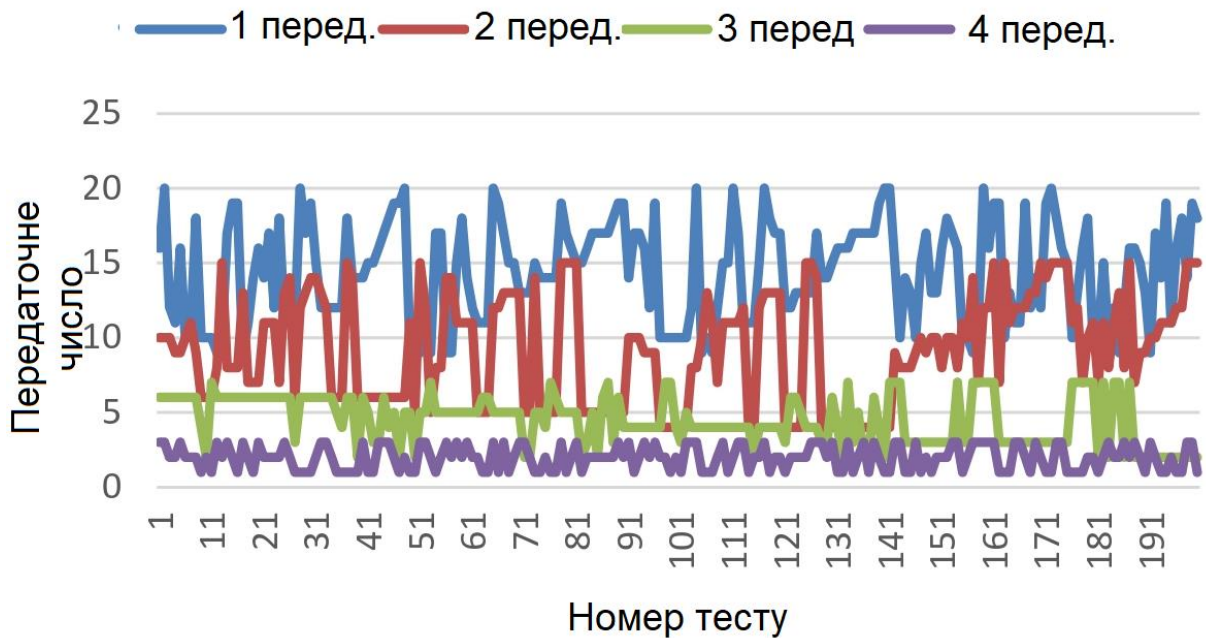


Рисунок 3.15 - Передаточні числа у порівнянні з тестовими прикладами з ДГМР

3.9 Висновки до розділу

1. Розроблено модель тягового приводу та навантаження транспортного засобу для гібридного електромобіля, включаючи модель набору передач, що дозволяє визначити оптимальну комбінацію наборів передач для досягнення нижчого споживання енергії від високовольтної батареї.
2. Модель розроблена в середовищі MATLAB/Simulink. Кожен етап моделі моделювався окремо, щоб переконатися, що динамічна та стаціонарна поведінка відповідає очікуваній. Параметри двигуна та приводу були підібрані таким чином, щоб бути близькими до системи Toyota Prius 2010 року. Механізм перемикання 4-швидкісних передач був змодельований за допомогою таблиці переходів автомата Simulink, щоб забезпечити належну роботу як при перемиканні на вищу (під час прискорення), так і на нижчу передачу (під час уповільнення).
3. Отримані результати були позитивними, оскільки можна протестувати різні передаточні числа, а потім оцінити оптимальні точки для мінімізації втрат енергії, що є особливістю у запропонованій моделі. Максимізація пробігу від батареї - це лише одна з областей застосування, де ця методика може бути використана дуже ефективно. Продуктивність системи можна точно налаштувати, а також оптимізувати для довших поїздок і збереження заряду акумулятора.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Заходи безпеки при монтажі електроустановок

Роботи в електроустановках, що стосується заходів безпеки, діляться на три категорії [16,17]: 1) зі зняттям напруги; 2) без зняття напруги на струмовідних частинах і поблизу них; 3) без зняття напруги не на струмовідних частинах, що знаходяться під напругою.

У випадку одночасної роботи в електроустановках напругою до і понад 1000 В категорії робіт визначаються як для установок більше 1000 В.

До робіт, які виконуються зі зняттям напруги, належать роботи, які здійснюються в електроустановці (або її частини), в якій з струмопровідних частин знято напругу і доступ в електроустановки (або їх частини), що знаходяться під напругою, стало неможливим.

До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах. Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них слід виконувати не менше як двом працівникам, з яких керівник робіт повинен мати групу IV, інші - групу III.

В електроустановках напругою понад 1000 В роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них слід виконувати із застосуванням засобів захисту для ізоляції працівника від струмопровідних частин або від землі. У випадку ізоляції працівника від землі роботи слід виконувати згідно спеціальних інструкцій або технологічними картами, в яких передбачені необхідні заходи безпеки.

Під час роботи в електроустановках напругою до 1000 В без зняття напруги на струмопровідних частинах або поблизу від них необхідно:

- захистити розташовані поблизу робочого місця інші струмопровідні частини, які знаходяться під напругою, і до яких можливо випадковий дотик;

- працювати в діелектричній взуття, стоячи або на ізолювальних підставці або на діелектричному килимі;

- застосовувати інструмент з ізолювальними рукавами (у викруток, крім того, повинен бути ізолюваний стрижень); за відсутності такого інструменту слід користуватися діелектричними рукавичками.

Під час виконання робіт без зняття напруги на струмопровідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно:

- Тримати ізолювальні частини засобів захисту за рукави до обмежувального кільця;

- Розміщувати ізолювальні частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмопровідними частинами двох фаз чи замикання на землю;

- Користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям.

У разі виявлення порушень лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту користування ними забороняється.

У процесі роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги та кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги) допускається наближення працівника до струмопровідних частин на відстань, яка визначається довжиною ізолювальної частини цих коштів.

Всі працівники, які знаходяться у приміщеннях з чинним електрообладнанням електростанцій і підстанцій (за винятком щитів керування релейних та їм подібних приміщень), в ЗРУ, ВРУ, в колодязях, тунелях і траншеях зобов'язані користуватися захисними касками.

4.2 Допомога при ураженні електричним струмом в електроустановках напругою до 1000 В

Перша медична допомога — це комплекс заходів, спрямованих на відновлення або збереження здоров'я потерпілих, здійснюваних немедичними

працівниками (взаємодопомога) або самим потерпілим (самодопомога) [17]. Найважливіше положення надання першої допомоги — її терміновість. Чим швидше вона надана, тим більше сподівань на сприятливий наслідок.

Послідовність надання першої допомоги:

- усунути вплив на організм ушкоджуючих факторів, котрі загрожують здоров'ю та життю потерпілих, оцінити стан потерпілого;
- визначити характер та важкість травми, найбільшу загрозу для життя потерпілого і послідовність заходів щодо його рятування;
- виконати необхідні заходи з рятування потерпілих в послідовності терміновості (відновити прохідність дихальних шляхів, здійснити штучне дихання, провести зовнішній масаж серця);
- підтримати основні життєві функції потерпілого до прибуття медичного працівника;
- викликати швидку медичну допомогу або вжити заходів щодо транспортування потерпілого до найближчого лікувального закладу.

Для звільнення потерпілого від струмоведучих частин або провода напруженою до 1000 В слід скористатись канатом, палицею, дошкою або; будь-яким сухим предметом, що не проводить електричного струму.

Якщо електричний струм проходить в землю через потерпілого і він судорожно стискає один провід, то простіше перервати струм, відокремивши потерпілого від землі (підсунувши під нього суху дошку, або відтягнувши за ноги від землі вірьовкою, або відтягнувши за одяг), дотримуючись при цьому запобіжних заходів. Можна також перерубати дроти сокирою з сухою ручкою або перекусити їх інструментом з ізольованими ручками. Перерубувати або перекушувати проводи слід пофазово, тобто кожний провід окремо, при цьому рекомендується стояти на сухих дошках, на дерев'яній драбині.

Заходи долікарської допомоги залежать від стану, в якому знаходиться потерпілий після звільнення від електричного струму. Після звільнення потерпілого від дії електричного струму необхідно оцінити його стан. У всіх

випадках ураження електричним струмом необхідно обов'язково викликати лікаря незалежно від стану потерпілого.

Якщо потерпілий при свідомості та стійке дихання і є пульсом, але до цього втрачав свідомість, його слід покласти на підстилку з одягу, розстебнути одяг, котрий затруднює дихання, забезпечити приплив свіжого повітря, розтерти і зігріти тіло та забезпечити повний спокій, дати понюхати нашатирний спирт, сполоснути обличчя холодною водою. Якщо потерпілий, котрий знаходиться без свідомості, прийде до тями, слід дати йому випити 15—20 краплин настоянки валеріани і гарячого чаю.

Ні в якому разі не можна дозволяти потерпілому рухатися, а тим більше продовжувати роботу, оскільки відсутність важких симптомів після ураження не виключає можливості подальшого погіршення стану. Лише лікар може робити висновок про стан здоров'я потерпілого. Якщо потерпілий дихає рідко і судорожно, але у нього не намацується пульсу необхідно відразу зробити йому штучне дихання.

За відсутності дихання та пульсу у потерпілого внаслідок різкого погіршення кровообігу мозку розширюються зіниці, зростає синюшність шкіри та слизових оболонок. У таких випадках допомога повинна бути спрямована на відновлення життєвих функцій шляхом проведення штучного дихання та зовнішнього (непрямого) масажу серця.

Потерпілого слід переносити в інше місце лише в тих випадках, коли йому та особі, що надає допомогу, продовжує загрожувати небезпека або коли надання допомоги на місці не можливе. Для того, щоб не втрачати час, не слід роздягати потерпілого. Не обов'язково, щоб при проведенні штучного дихання потерпілий знаходився в горизонтальному положенні. Якщо потерпілий знаходиться на висоті, необхідно перед спуском на землю зробити штучне дихання безпосередньо в люльці, на щоглі і на опорі.

Опустивши потерпілого на землю, необхідно відразу розпочати проведення штучного дихання та масажу серця і робити це до появи

самостійного дихання і відновлення діяльності серця або передачі потерпілого медичному персоналу.

4.3 Підвищення стійкості роботи об'єктів енергетики у воєнний час

На основі всебічного аналізу факторів, що впливають на стійкість роботи об'єктів енергетики, робляться висновки про ймовірність виникнення аварій, стихійних лих, терористичних актів та їх впливу на виробничу діяльність і визначаються основні напрямки (шляхи) підвищення стійкості функціонування об'єктів енергетики в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу [18,19]:

1. Забезпечення надійного захисту робітників та службовців від впливу вражаючих факторів аварій, катастроф, стихійних лих і засобів ураження

2. Захист основних виробничих фондів від впливу вражаючих факторів аварій, катастроф, стихійних лих та засобів ураження, в тому числі і від вторинних вражаючих факторів;

3. Забезпечення стабільності і безперервності управління виробництвом та ЦЗ;

4. Забезпечення надійності постачання об'єкта енергоносіями.

Для надійного функціонування об'єктів енергетики в надзвичайних ситуаціях завчасно організовуються і проводяться заходи, спрямовані на підвищення стійкості їх роботи. До них відносяться:

1. Інженерно-технічні заходи (ІТЗ).
2. Технологічні заходи.
3. Організаційні заходи.

Інженерно-технічні заходи - заходи, спрямовані на забезпечення підвищення стійкості будівель, споруд, обладнання, енергетичних систем до впливу НС.

Технологічні заходи - заходи, спрямовані на здійснення підвищення стійкості шляхом зміни технологічного режиму, що виключає виникнення вторинних факторів ураження.

Організаційні заходи - заходи, спрямовані на завчасну розробку і планування дій керівного складу, особового складу, штабу ЦЗ, служб, невоєнізованих формувань об'єктів енергетики в умовах надзвичайних ситуацій.

Основними напрямками підвищення стійкості функціонування є наступне:

- забезпечення захисту населення і його життєдіяльності;
- раціональне розміщення виробничих сил та потужностей на території об'єкта енергетики, регіону;
- підготовка до роботи в умовах НС мирного та воєнного часу;
- підготовка до виконання робіт по відновленню об'єктів в умовах НС;
- підготовка системи управління.

Всі ці заходи повинні забезпечити максимально можливе зниження втрат і руйнувань та зменшити можливість виникнення повторних зон зараження при впливі РР, ОР та НХР. Зміст таких заходів, виходячи з галузевих і інших нормативних документів, конкретизується для кожної територіальної ланки..

Ми знаємо, що електропостачання є основою всякого виробництва. Для забезпечення надійного електропостачання в НС при його проектуванні та будівництві повинні бути враховані наступні основні вимоги, що впливають із завдань цивільного захисту:

1. Електропостачання повинно здійснюватися від енергосистем, до складу яких входять електростанції, що працюють на різних видах палива.
2. Великі електростанції слід розміщувати одну від одної і від великих міст на значних відстанях.

3. Районні понижуючі підстанції, диспетчерські пункти енергосистем та лінії електропередач необхідно розміщувати розсереджено і надійно захищати.

4. Постачання електроенергією великих міст слід передбачати від двох незалежних джерел.

Крім того, необхідно створювати автономні резервні джерела електропостачання. Для цього можна використовувати рухливі електростанції на залізничних платформах, малопотужні електростанції, не включені до енергосистеми. Система електропостачання повинна мати грозозахисту систему та захист від впливу електромагнітного імпульсу ядерного вибуху.

Енергетичні споруди та електричні мережі повинні проектуватися з урахуванням забезпечення стійкого електропостачання категорійних міст і об'єктів. Схема електричних мереж енергосистем при необхідності повинна передбачати можливість автоматичного розподілу енергосистеми на збалансовані, незалежно працюючі частини. При проектуванні енергетичних систем і їхнього об'єднання теплові (конденсаційні) електростанції слід розміщати поза зонами можливого катастрофічного затоплення. У категорійних містах припускається розміщення тільки теплоелектроцентралей незалежно від їхньої встановленої потужності з максимальним віддаленням їх від центрів житлової і промислової забудов. Нові атомні електростанції та атомні теплоелектроцентралі повинні розміщатися з урахуванням їх впливу на навколишнє середовище і радіаційну безпеку населення. На існуючих та на тих, що проектуються і будуються атомних станціях, передбачається створення систем автоматизованого контролю за радіаційною обстановкою на території станції і в зоні спостереження цих станцій, оповіщення та інформаційного забезпечення обслуговуючого персоналу і населення про радіаційну небезпеку, а також захищених пунктів керування протиаварійними діями на території станції і в пристанційних селищах.

При проектуванні схем зовнішнього електропостачання категорійних міст необхідно передбачати їхнє електропостачання від декількох незалежних та

територіально рознесених джерел живлення (електростанції і підстанції), частина з яких повинна розташовуватися за межами зон можливих руйнувань. При цьому зазначені джерела і їхні лінії електропередачі повинні, як правило, знаходитися на відстані одне від одного, що виключає можливість їхнього одночасного виходу з ладу. Системи електропостачання категорійних міст повинні враховувати можливість забезпечення транзиту електроенергії в обхід зруйнованих об'єктів за рахунок спорудження коротких перемичок повітряними лініями електропередачі. Нові лінії електропередачі, що живлять особливо важливих споживачів, слід проектувати в кабельному виконанні. Для забезпечення можливості зниження електричного навантаження в категорійних містах системи електропостачання об'єктів, які не відключаються у воєнний час, повинні бути відділені від систем електропостачання інших об'єктів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

4. Встановлено, що використання приводу зі змінною швидкістю замість приводу з постійною швидкістю може підвищити ефективність системи від 15 до 27 %. Робота приводу зі змінною швидкістю приносить користь навколишньому середовищу з точки зору економії енергії, зменшує забруднення атмосфери за рахунок зниження споживання енергії та виробництва.
5. Більшість гібридних електромобілів наразі використовують 1-2 передачі для максимізації ефективності двигуна, проте багато гібридів не використовують жодної передачі взагалі. Ця модель працює, але не дозволяє використовувати менший за розміром та ефективніший двигун. Наведений цій роботі аналіз показує, що вибір правильного передаточного числа може бути корисним для ефективного використання потужності приводу і мінімізації споживання енергії від джерела живлення.
6. Розроблено модель тягового приводу та навантаження транспортного засобу для гібридного електромобіля, включаючи модель набору передач, що дозволяє визначити оптимальну комбінацію наборів передач для досягнення нижчого споживання енергії від високовольтної батареї. Модель була розроблена в середовищі MATLAB/Simulink. Кожен етап моделі моделювався окремо, щоб переконатися, що динамічна та стаціонарна поведінка відповідає очікуваній. Параметри двигуна та приводу були підібрані таким чином, щоб бути близькими до системи Toyota Prius. Механізм перемикання 4-швидкісних передач був змодельований за допомогою таблиці переходів автомата Simulink, щоб забезпечити належну роботу як при перемиканні на вищу (під час прискорення), так і на нижчу передачу (під час уповільнення).

7. Отримані результати були позитивними, оскільки можна протестувати різні передаточні числа, а потім оцінити оптимальні точки для мінімізації втрат енергії, що є особливістю у запропонованій моделі. Максимізація пробігу від батареї - це лише одна з областей застосування, де ця методика може бути використана дуже ефективно. Продуктивність системи можна точно налаштувати, а також оптимізувати для довших поїздок і збереження заряду акумулятора.

8. Для подальшого вдосконалення цієї моделі можна розглянути декілька напрямків. Одним з основних напрямків, який би значно покращив цю модель, є подальша оптимізація для накопичення енергії рекуперативного гальмування. Точки перемикання на нижчу передачу можна оптимізувати, щоб забезпечити максимальну рекуперацію енергії під час гальмування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Малушенко А.С. Перспектива зарядки електромобілів від відновлювальних джерел енергії // А. С. Малушенко; М.Б. Горват; В. П. Коваль / Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. – С. 225.

2. Bertoluzzo, M., Bolognesi, P., Buja, G., & Thakura, P. (2007, November). Role and technology of the power split apparatus in hybrid electric vehicles. In IECON 2007-33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (pp. 256-261). IEEE.

3. Bayrak, A. E., Ren, Y., & Papalambros, P. Y. (2013, August). Design of hybrid-electric vehicle architectures using auto-generation of feasible driving modes. In International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (Vol. 55843, p. V001T01A005). American Society of Mechanical Engineers.

4. Yang, Z., Shang, F., Brown, I. P., & Krishnamurthy, M. (2015). Comparative study of interior permanent magnet, induction, and switched reluctance motor drives for EV and HEV applications. IEEE Transactions on Transportation Electrification, 1(3), 245-254.

5. Orobchuk, B., & Koval, V. (2020). Development and research of Wi-Fi network for receiving and transmitting telemechanical information in the training laboratory. Вісник Тернопільського національного технічного університету, 99(3), 124-132.

6. Ansari, A., Jain, S., Phulambikar, S. P., & Gupta, S. (2014). Performance and Analysis with Power Quality Improvement with Induction Motor in Electric Drive. International Journal of Engineering and Technical Research, 2(10), 30-34.

7. Vadym Koval, Serhii Martsenko, Myroslav Zin (2023). Designing and Implementing Intelligent Lighting Control System. The 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). Ternopil,

Ukraine, June 14-16, Vol. 3468, Pages 241-249.

8. Kim, M., Jeung, D., & Min, K. (2012). Fuel Economy of Series Hybrid Electric Bus by Matching the Gear Ratio of Different Capacity Traction Motors. *World Electric Vehicle Journal*, 5(1), 254-260.

9. Керя Ю.Б. Роль системи накопичення енергії у електроенергетичній системі //Ю.Б.Керя, В.П.Коваль /Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 груд. 2022.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 68.

10. Коваль В. П. Використання суперконденсаторів у енергоустановках / В. П. Коваль, Я. О. Філюк, А. М. Смучок // Збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2015 року — Т. : ТНТУ, 2015 — Том 2. — С. 105.

11. Ковальчин М.В. Галузі застосування термоелектричних генераторів // М.В. Ковальчин, В.П.Коваль /Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 груд. 2022.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 69.

12. Bohdan Orobchuk, Ivan Sysak, Oleh Buniak, Serhii Babiuk, Vadym Koval (2023) Development of the reactive power compensation laboratory bench and its integration into the training simulator of dispatch control system. The 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2023 (ITTAР 2023)

13. Левчук П. П. Зарядка електричних транспортних засобів на основі безпроводної передачі енергії / П. П. Левчук, В. П. Коваль // Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — Том 2. — С. 117.

14. El Shewy, H. M., Abd Al Kader, F. E., El Kholy, M. M., & El Shahat,

A. (2008, May). Dynamic modeling of permanent magnet synchronous motor using MATLAB-simulink. In The International Conference on Electrical Engineering (Vol. 6, No. 6th International Conference on Electrical Engineering ICEENG 2008, pp. 1-16). Military Technical College.

15. Johri, R., Baseley, S., & Filipi, Z. (2011, January). Simultaneous optimization of supervisory control and gear shift logic for a parallel hydraulic hybrid refuse truck using stochastic dynamic programming. In Dynamic Systems and Control Conference (Vol. 54754, pp. 99-106).

16. Lin, X., Wang, Y., Pedram, M., Kim, J., & Chang, N. (2013). Designing fault-tolerant photovoltaic systems. IEEE Design & Test, 31(3), 76-84.

17. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник/ В.Ц.Жидецький, В.С Джигирей, О.В.Мельников. – Вид. 5-те, доповнене. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.

18. Стеблюк М.І. Цивільна оборона та цивільний захист: Підручник. – 2-ге вид., перероб. Затверджено МОН / М.І. Стеблюк.– К., 2010. – 487 с

19. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «цивільна безпека»/ автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.