

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода
транспортного засобу на базі мотор-колес»

Виконав: студент 2-го курсу, гр. ЕПА-21м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Володимир МИКИТЧЕНКО
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент кафедри КЕМСК

Олександр ПАЯНОК
(прізвище та ініціали)

«15» листопада 2022 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. ЕСЕМ

Вадим О.В.
(прізвище та ініціали)

«19» грудня 2022 р.

Допущено до захисту каф. КЕМСК
Зав. кафедри Микола МОШНОРИЗ
«30» листопада 2022 р.

Вінницький національний технічний університет

Факультет Електроенергетики та електромеханіки

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)

Галузь знань 14 – Електрична інженерія

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

к.т.н., доц.

Микола МОШНОРІЗ

“06” Вересня 2011 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Микитченко Володимир Валентинович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-коліс

керівник роботи Паянок Олександр Анатолійович, к.т.н., доц. каф. КЕМСК

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “14” Вересня 2011 року №

2. Строк подання студентом роботи 30 10 2011 року

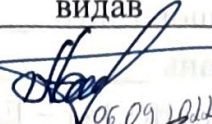

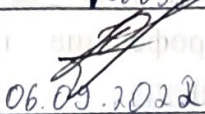
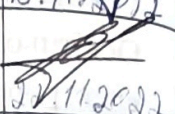
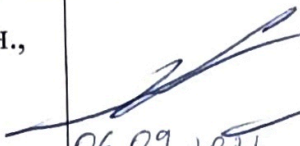
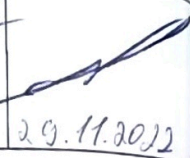
3. Вихідні дані до роботи: фронтальна площа машини - $A = 2,6 \text{ м}^2$; аеродинамічний коефіцієнт опору повітрю - $C_d = 0,3$; радіус колеса з резиною - $r = 0,32 \text{ м}$; маса автомобіля - $m = 921 \text{ кг}$; коефіцієнт тертя-кочення - $\mu_{\text{тк}} = 0,01$; кількість приводних двигунів - $n_{\text{дв}} = 4$; динаміку розгону від 0 до 100 км/год - 13 секунд.

4. Зміст текстової частини: Вступ; 1 Обґрунтування вибору компоновки системи тягового електропривода; 2 Розрахунок параметрів тягової системи та розробка функціональної системи транспортного засобу; 3 Розробка системи стабілізації швидкості транспортного засобу на базі мотор-коліс; 4 Моделювання динамічних режимів роботи транспортного засобу в ППП Matlab Simulink; 5. Економічна частина; 6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; Висновки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Об'єкт, предмет, мета та задачі дослідження; 2 Обґрунтування вибору компоновки системи ТЕП; 3 Вимоги та критерії побудови ТЗ з тяговим електроприводом; 4 Розрахунок параметрів тягової системи; 5 Вибір джерела живлення для ТЕП; 6 Розробка системи стабілізації швидкості. Електронний диференціал; 7 Розробка системи стабілізації швидкості; 8 Моделювання системи електронного диференціалу (2 плаката); 9 Моделювання системи стабілізації лінійної швидкості ТЗ (2 плаката); 10 Використанням алгоритмів нечіткої логіки (2 плаката); Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	к. т. н., доц. каф. КЕМСК Паянок О.А.	 06.09.2022	 15.11.2022
Економічна частина	Шулле Ю.А. к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ	 06.09.2022	 29.11.2022
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	 06.09.2022	 29.11.2022

7. Дата видачі завдання 06.09.2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

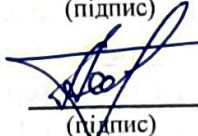
№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	06.09.2022	вик
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	15.11.2022	вик
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	15.11.2022	вик
4	Виконання розділу «Економічна частина»	22.11.2022	вик
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	29.11.2022	вик
6	Попередній захист МКР	30.11.2022	вик
7	Нормоконтроль МКР	30.11.2022	вик
8	Рецензування МКР	19.12.2022	вик
9	Захист МКР	20.12.2022	вик

Студент


(підпис)

Михайленко В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Галенко О.А.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК: 62-83:622.673.1

Микитченко В.В. Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-коліс. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма - електрична інженерія. Вінниця: ВНТУ, 2022. 108 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 24 назв; рис.: 35; табл. 14.

В магістерській кваліфікаційній роботі були запропоновані рішення щодо підвищення енергетичної ефективності функціонування тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-коліс. В основній частині роботи запропоновано рекомендації щодо вибору варіанта компонування тягової системи транспортного засобу для підвищення його енергоефективності, здійснено розрахунок та вибір типу тягового двигуна для транспортного засобу – безколекторного двигуна постійного струму, попередньо оцінено потужність обраного двигуна, запропоновано функціональну схему тягової системи транспортного засобу на базі чотирьох мотор-коліс, розроблено систему електронного диференціала для варіанта компонування з чотирма мотор-колесами на базі безколекторних двигунів постійного струму, проведено імітаційне моделювання з метою оцінки енергоефективності розглянутих систем.

Графічна частина складається з 14 плакатів із результатами роботи.

В розділі охорони праці визначено основні положення щодо безпечної експлуатації досліджуваного електротехнічного комплексу в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища.

Ключові слова: мотор-колеса, електромобіль, електропривод, тяговий двигун, система керування, режими роботи, моделювання, математична модель, нечітка логіка, алгоритм

ABSTRACT

Mykytchenko V.V. Digital FM radio with mp3 player. Master's thesis in specialty 141 - electricity, electrical engineering and electromechanics, ducational program - electrical engineering Vinnitsa: VNTU, 2022. – 108 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 24 titles; fig.: 35; tabl. 14.

In the master's qualification work, solutions were proposed to increase the energy efficiency of the traction electric drive of a motor-wheel-based vehicle. In the main part of the work, recommendations are offered regarding the choice of a vehicle traction system layout option to increase its energy efficiency, the calculation and selection of the type of traction motor for the vehicle - collectorless direct current motor, preliminary assessment of the power of the selected motor, and a functional diagram of the vehicle traction system based on four motor-wheels, an electronic differential system was developed for the version of the layout with four motor-wheels based on brushless direct current motors, simulation modeling was carried out in order to evaluate the energy efficiency of the considered systems.

The graphic part consists of 14 posters with the results of the work.

In the section on labor protection, the main provisions regarding the safe operation of the studied electrotechnical complex under the influence of harmful factors of the surrounding environment are defined.

Key words: motor-wheel, electric car, electric drive, traction motor, control system, operating modes, modeling, mathematical model, fuzzy logic, algorithm

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОМПОНОВКИ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	9
1.1 Аналіз варіантів компоновок тягової системи безрейкового транспортного засобу.....	9
1.2 Вимоги та критерії побудови транспортного засобу з тяговим електроприводом.....	15
1.3 Висновок	18
2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВОЇ СИСТЕМИ ТА РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ.....	19
2.1 Розрахунок параметрів тягової системи транспортного засобу.....	19
2.2 Аналіз експлуатаційних характеристик та типів акумуляторних батареї для транспортного засобу.....	23
2.3 Визначення ємності тягової акумуляторної батареї.....	28
2.4 Розробка функціональної схеми тягової системи транспортного засобу	30
2.5 Висновок.....	31
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ШВИДКОСТІ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ НА БАЗІ МОТОР-КОЛІС.....	33
3.1 Математична модель електронного диференціалу транспортного засобу.....	33
3.2 Система стабілізації швидкості транспортного засобу на базі ПД- регулятора.....	39
3.3 Висночок.....	45
4 МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В ППП МАТЛАВ SIMULINK.....	46
4.1 Моделювання системи електронного диференціалу.....	46
4.2 Моделювання системи стабілізації лінійної швидкості транспортного	

	4
засобу.....	50
4.3 Моделювання системи стабілізації лінійної швидкості транспортного засобу з використанням алгоритмів нечіткої логіки.....	53
4.4 Висновок.....	60
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	61
5.1 Розрахунок капітальних вкладень	61
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат.....	63
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	69
ВИСНОВКИ.....	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	85
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання.....	89
Додаток Б (обов'язковий) Ілюстративна частина.....	94

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Внаслідок посилення екологічних вимог до використовуваних транспортних засобів, підвищення вартості енергоресурсів, а також розвитку нових джерел енергії набуває актуальності питання про першочергові напрями розвитку рухомого складу безрейкового електротранспорту.

На цей час виготовлено низку конструкцій транспортних засобів, що використовують нові джерела енергії в різних поєднаннях з тепловими двигунами та контактною мережею. Перспективні транспортні енергетичні установки повинні мати ресурс роботи, близький до терміну служби кузова транспортного засобу, мала вага і вартість, а також гнучкість схем енергоустановок, що дозволяє застосовувати їх на рухомому складі різної місткості, так і модернізувати енергоустановки в міру вдосконалення джерел енергії.

Основною проблемою електричних транспортних засобів сьогодні є малий запас автономного ходу проти традиційними транспортними засобами з урахуванням двигунів внутрішнього згоряння. Проблема реалізації автономного ходу зараз також актуальна для міського громадського електричного транспорту, такого як тролейбуси, трамваї та електробуси.

Проведений аналіз відображає зростання інтересу наукових кіл до таких питань, т.к. кількість публікацій та наукових праць на тему підвищення енергоефективності електричного транспорту з кожним роком зростає.

Існують різні підходи до вирішення цієї проблеми. Це і впровадження різноманітних накопичувачів енергії, реалізація гібридних енергоустановок, що поєднують у собі кілька різних джерел енергії, а також реалізація сучасних систем управління електричним тяговим приводом постійного та змінного струму.

Питання підвищення енергоефективності – це об'ємне завдання, оскільки сучасні електричні транспортні засоби є складними технічними системами. Під час розгляду питань підвищення енергоефективності не

можна розглядати окрему підсистему та її внутрішні процеси. Необхідно враховувати вплив підсистем одна на одну та функціонування всієї системи загалом.

Більшість фахівців робить висновок про те, що саме невеликий запас ходу транспортного засобу і є головною проблемою безрейкового електротранспорту. Ця проблема вирішується використанням сучасних типів накопичувачів енергії, реалізацією гібридних систем, чи реалізацією сучасних систем управління.

Подальше вдосконалення систем тягового електроприводу можливе за рахунок розробки та дослідження нових алгоритмів керування. Розробка нових алгоритмів управління, дослідження особливостей їх використання в системі тягового електроприводу є актуальним завданням, яке стоїть перед фахівцями. Вирішення цього завдання призведе, зрештою, до розробки та створення енергоефективного транспортного засобу.

Об'єкт дослідження є система тягового електроприводу безрейкового транспортного засобу з акумуляторним джерелом живлення.

Предметом дослідження є математичні моделі та структури, алгоритми керування тяговим електроприводом, які дозволяють підвищити ефективність електропривода транспортного засобу на базі мотор-коліс.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності підвищення енергетичної ефективності системи тягового електроприводу транспортного засобу на базі мотор-коліс за рахунок раціонального вибору компонування тягової системи та використання сучасних алгоритмів керування.

В процесі реалізації мети роботи необхідно виконати такі **завдання**:

- проаналізувати варіанти компонування тягової системи безрейкового транспортного засобу підвищення її енергоефективності;
- розробити систему електронного диференціала для варіанта компонування з чотирма мотор-колесами на базі безколекторних двигунів постійного струму;

- виконати розрахунок та вибір типу тягового двигуна для транспортного засобу, розробити функціональну схему тягової системи транспортного засобу на базі чотирьох мотор-колес;

- виконати імітаційне моделювання динамічних режимів роботи з метою оцінки енергоефективності та адекватності запропонованих схемних рішень;

- синтезувати систему стабілізації лінійної швидкості транспортного засобу для безколекторних двигунів постійного струму із застосуванням алгоритмів нечіткої логіки.

- виконати техніко-економічний розрахунок величини витрат запропонованого варіанту системи електропривода та обґрунтувати правильність виконання досліджень та економічну доцільність впровадження технічних рішень;

- визначити основні положення щодо безпечної експлуатації досліджуваного електротехнічного комплексу в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища.

Методи дослідження засновані на використанні аналітичних методів та відомостей з теорії електричних машин, перетворювальної техніки, теорії автоматичного керування. Розробка імітаційних моделей транспортного засобу виконувалась у комп'ютерному середовищі MATLAB/Simulink.

Наукова новизна одержаних результатів:

- запропоновано алгоритм управління тяговим електроприводом, заснований на регулюванні постійної часу задатчика інтенсивності із застосуванням нечіткої логіки.

- запропоновано методику оцінки енергоефективності транспортного засобу під час руху за запропонованим випробувальним циклом у режимі стабілізації лінійної швидкості.

- розроблено методику синтезу системи стабілізації лінійної швидкості транспортного засобу на основі алгоритмів, які реалізують функцію енергоефективного керування.

Практичне значення одержаних у роботі результатів полягає в наступному:

- результати отриманих досліджень можуть бути використані в задачах проектування та оптимізації режимів роботи тягових електроприводів транспортних засобів;

- розрахункові результати досліджень можуть бути використанні під час вивчення фахових дисциплін таких освітніх програм як «Електричні системи і комплекси транспортних засобів» та «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод».

Особистий внесок здобувача. Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи отримано автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на науково-технічній конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2022).

Публікації. Оpubліковано 1 тези доповідей матеріалів конференцій.

- Матеріали конференції «L регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств», Вінниця, 2021. [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2021/paper/view/12466/10408>. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 3 с.

1 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОМПОНОВКИ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

1.1 Аналіз варіантів компоновок тягової системи безрейкового транспортного засобу

В останні роки електричні безрейкові транспортні засоби є однією з технологій, що найбільш швидко розвиваються. Їх застосування може стати вирішенням проблеми ефективного використання енергії та зниження шкоди навколишньому середовищу, що наноситься двигунами внутрішнього згорання. На сьогоднішній день конструювання електромобілів вийшло значно новий рівень, проте щодо висока вартість і обмеженість запасу автономного ходу залишаються головними проблемами. Збільшення автономного ходу електричних транспортних засобів, зараз, досягається різними способами. Один із найпоширеніших – це інтеграція додаткових акумуляторних батарей у силову схему транспортної установки. Недоліками цього є подорожчання транспортного засобу та збільшення масогабаритних показників. Інший метод – це реалізація сучасних систем керування силовою схемою транспортного засобу, так званий апаратний метод. Його недоліками є складність реалізації та впровадження додаткового обладнання в електричну частину транспортного засобу [1-2].

Інженерами та вченими постійно удосконалюються технології виготовлення електричних машин, акумуляторних батарей та напівпровідникових елементів для створення енергоефективних варіантів конструювання тягової системи електричних безрейкових транспортних засобів. Масовий випуск електромобілів світовими лідерами в галузі автомобілебудування дозволив знизити ринкову вартість таких транспортних засобів, у порівнянні з штучними екземплярами, що також робить електромобілі не тільки прийнятним варіантом для покупців, а й чудовою альтернативою автомобілям із двигуном внутрішнього згорання. Найбільшою

перевагою електромобілів є те, що їхнє застосування забезпечує нульовий рівень викидів, роблячи його екологічно чистим. Порівняно із звичайними транспортними засобами електромобіль відрізняється високою енергоефективністю. Саме з цієї причини багато автомобільних компаній зосереджено на виробництві гібридних автомобілів та електромобілів.

Крім міських транспортних систем та автомобілів загального користування, електротранспорт знаходить своє застосування і як транспортні комплекси виробничих приміщень. Все більшої популярності по всьому світу набувають електрокари та навантажувачі, особливо в закритих складських приміщеннях, де застосування класичного транспорту з ДВЗ неможливе.

Більшість автономних електричних транспортних засобів проектується за допомогою декількох основних вузлів: електричний двигун, система накопичення енергії, перетворювальна техніка. Саме вони забезпечують необхідну динаміку транспортного засобу та високу автономність. Залежно від того, де встановлено електричний двигун, виділяють компонування транспортного засобу з централізованим приводом та розподіленим приводом, що складається з кількох електродвигунів [3-4]. Електротранспорт з централізованим приводом, тягова система якого приведена на рисунку 1.1, схожий по компоновці з класичним транспортним засобом з двигуном внутрішнього згоряння. Така система реалізується шляхом незначних змін у компонуванні класичного транспортного засобу. Ці зміни полягають у замінах двигуна внутрішнього згоряння електричний двигун і бензобака на систему накопичення електроенергії.

На рисунку 1.1: 1 – система накопичення енергії; 2 – електричний двигун; 3 – зчеплення; 4 – редуктор; 5 – диференціал.

Трансмісія електромобіля з такою реалізацією тягової системи має 2-3 перемикання передач, зчеплення грає роль відключення потужності та зменшення удару при перемиканні передач. Система з централізованим електроприводом у такій реалізації зберігає у своєму складі велику кількість

механічних вузлів, таких як редуктор, диференціал, карданний вал, що збільшує масу транспортного засобу, а це, у свою чергу, призводить до нераціональної витрати електричної енергії.

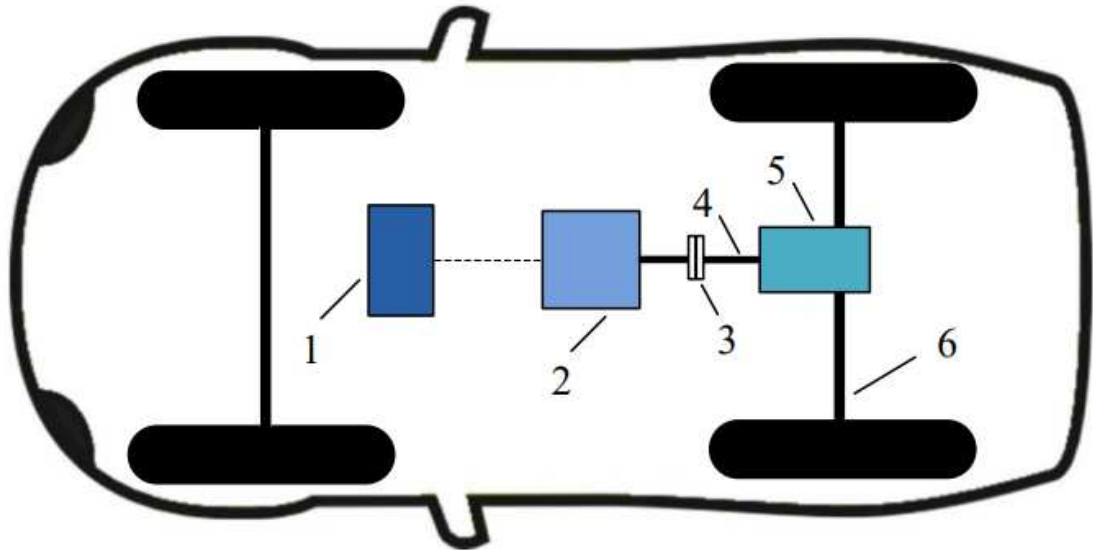


Рисунок 1.1 – Розташування тягової системи в автономному електричному транспортному засобі з централізованим приводом

Представлена вище система з централізованим приводом може бути поліпшена шляхом усунення зчеплення і заміною його на редуктор з фіксованим передавальним числом, який з'єднаний з електродвигуном. Застосування такого рішення, приведеного на рисунку 1.2, дозволяє зменшити масу транспортного засобу.

На рисунку 1.2: 1 – система накопичення енергії; 2 – електричний двигун; 3 – редуктор з фіксованим передавальним числом; 4 – диференціал.

Така конструкція дозволяє поліпшити характеристики автономного транспортного засобу, але все ще містить багато механічних вузлів, що зберігає головний недолік системи з централізованим приводом.

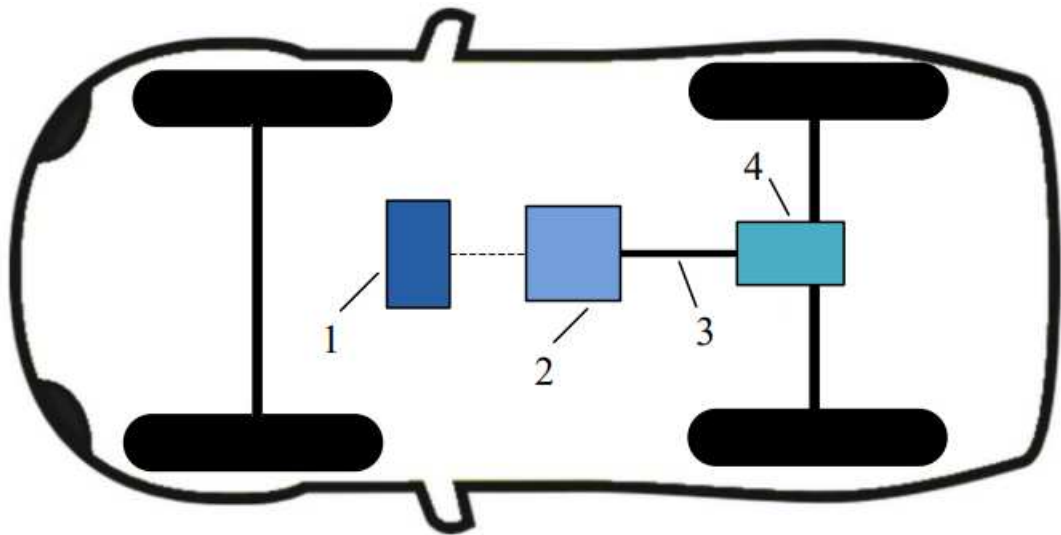


Рисунок 1.2 – Розташування тягової системи в автономному електричному транспортному засобі з централізованим приводом без зчеплення

Підключення електричного двигуна безпосередньо до осьового диференціала, як показано на рисунку 1.3, дозволяє позбутися редуктора, що знижує загальну масу конструкції транспортного засобу.

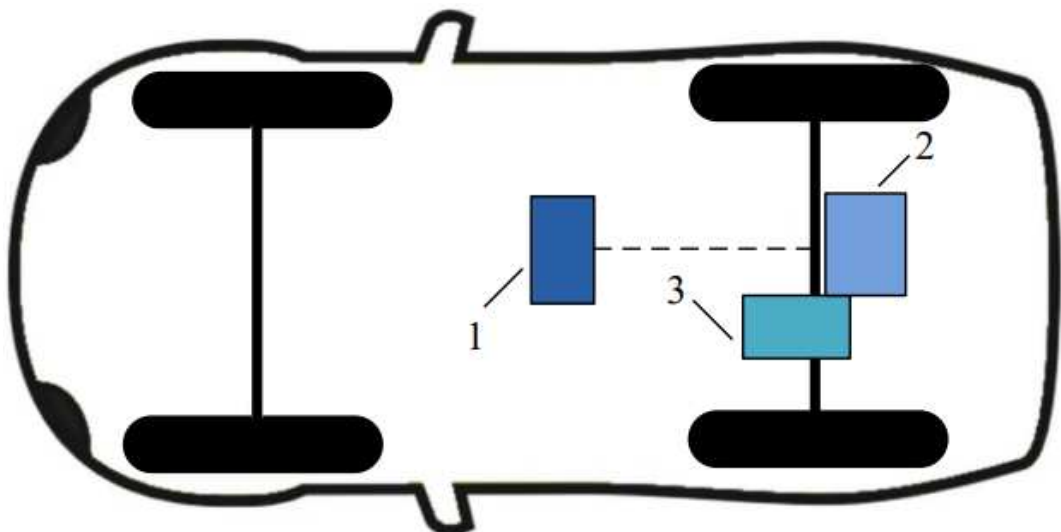


Рисунок 1.3 – Розташування тягової системи в автономному електричному транспортному засобі, підключеному до осьового диференціалу

На рисунку 1.3: 1 – система накопичення енергії; 2 – електричний двигун; 3 – диференціал.

Також при такому компонованні з'являється можливість реалізації системи з розподіленим приводом при підключенні другого електродвигуна на іншу вісь. Такий варіант реалізації тягової системи вимагає підбору тихохідного тягового електродвигуна, внаслідок чого виникає проблема забезпечення запасу потужності для здійснення швидкого старту.

Як було зазначено раніше, реалізація тягової системи транспортного засобу з розподіленим приводом передбачає наявність кількох електричних двигунів. Потужність передається на відповідне колесо за рахунок інтеграції кількох двигунів поблизу колеса або ободу, що значно скорочує коло передачі енергії. Одним із варіантів реалізації такої тягової системи є система з мотор-колесами, при якій електричний двигун безпосередньо вбудований у колесо (рисунок 1.4).

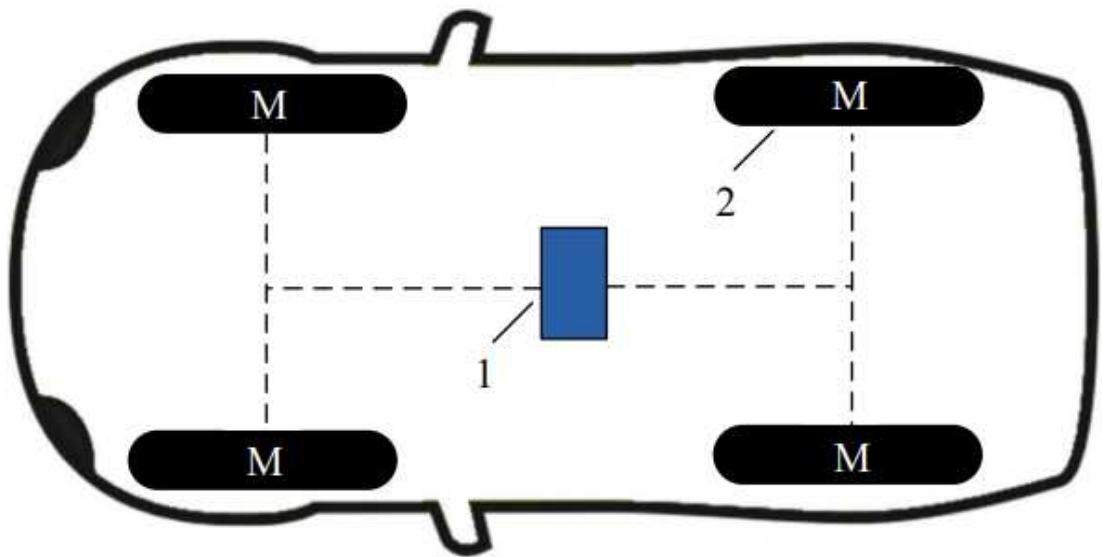


Рисунок 1.4 – Розташування тягової системи в автономному електричному транспортному засобі з мотор-колесами

На рисунку 1.4: 1 – система накопичення енергії; 2 – мотор-колеса.

Крім електродвигуна, мотор-колеса оснащуються гальмівною системою та системою підвісок. Застосування мотор-колес у тяговій системі повністю

виключає такі механічні вузли як зчеплення, редуктор, диференціал та піввісі, що зменшує кількість деталей, що труться, і, у свою чергу, підвищує надійність системи. Ще однією перевагою мотор-коліс є економія місця для розміщення додаткового обладнання, збільшення кількості акумуляторних батарей у системі накопичення енергії або збереження простору для пасажирів. Незалежне керування моментом і частотою обертання кожного колеса говорить про те, що мотор-колеса можуть обертатися з різною частотою обертання та в різних напрямках, що значно підвищує динаміку транспортного засобу.

На даний момент автомобілі з мотор-колесами розробляються багатьма виробниками, зокрема для умов бездоріжжя. До недоліку такої системи варто віднести велику безпружинну масу, яка підвищує знос підвіски і передає на кузов більше вібрацій.

Для виключення передавальних механізмів у пристрої мотор-колес застосовується пряме з'єднання валу електричного двигуна безпосередньо з колесом. У такому разі, номінальні параметри режимів руху транспортного засобу можуть забезпечити електродвигуни з постійними магнітами та осьовим магнітним потоком. Однак, виробництво електродвигунів з постійними магнітами та осьовим магнітним потоком є більш дорогим у порівнянні зі стандартною конструкцією електродвигуна з радіальним магнітним потоком [9].

Використання багатоступінчастої механічної трансмісії також дозволяє досягти необхідних динамічних показників системи в межах номінальних параметрів електричного двигуна. Але варто зазначити, що процес розробки, експлуатації та технічного обслуговування таких механізмів також є трудомістким та ресурсом витратним внаслідок наявності великої кількості механічних вузлів.

Конструкція мотор-колеса передбачає використання передавального механізму з одним щаблем і не має можливості зміни передавального числа. Таке рішення є найбільш ефективним, оскільки кінцева вартість та

експлуатаційні витрати значно нижчі порівняно з представленими вище конструкціями. Спрощення механічної частини конструкції спричиняє необхідність розширення діапазону регулювання електричного двигуна в кілька разів, для забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик. Розширення діапазону регулювання можливе за рахунок послаблення поля.

1.2 Вимоги та критерії побудови транспортного засобу з тяговим електроприводом

Показники транспортного засобу повинні відповідати наступним критеріям:

1. забезпечення необхідного прискорення;
2. здатність до подолання спусків та підйомів: нахил, який транспортний засіб може подолати з певною швидкістю;
3. максимальна швидкість, яку може розвинути транспортний засіб за постійної потужності.
4. Максимальний запас ходу на одному заряді акумуляторної батареї.

Вихідні характеристики, необхідні тягового двигуна, приведені на рисунку 1.5.

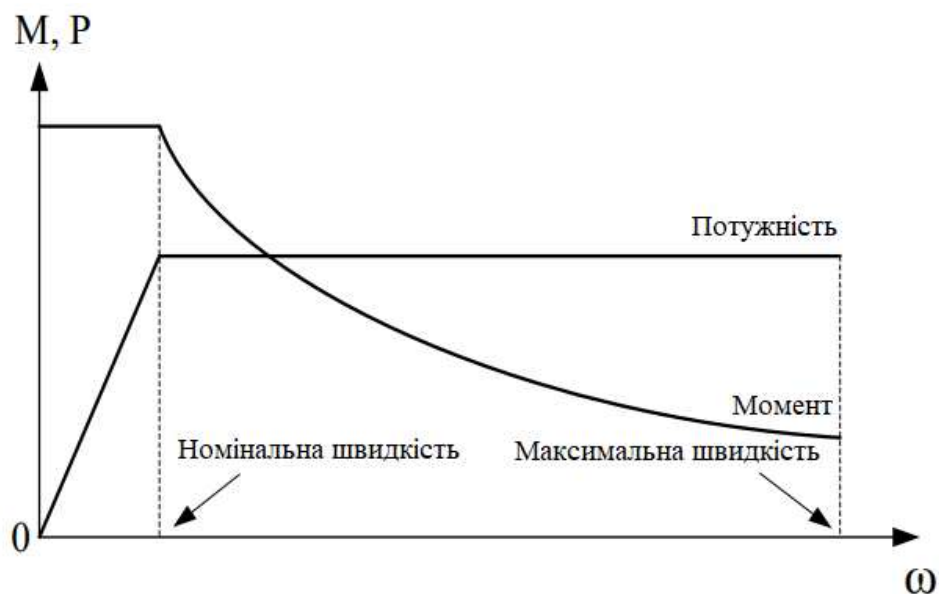


Рисунок 1.5 – Вихідні характеристики тягового двигуна

З характеристик крутного моменту та швидкості можна помітити, що тяговий двигун повинен створювати високий крутний момент при пуску та прискорення, а також виробляти високу потужність для подальшої роботи.

На рисунку 1.6 показана характеристика крутного моменту та швидкості тягового двигуна.

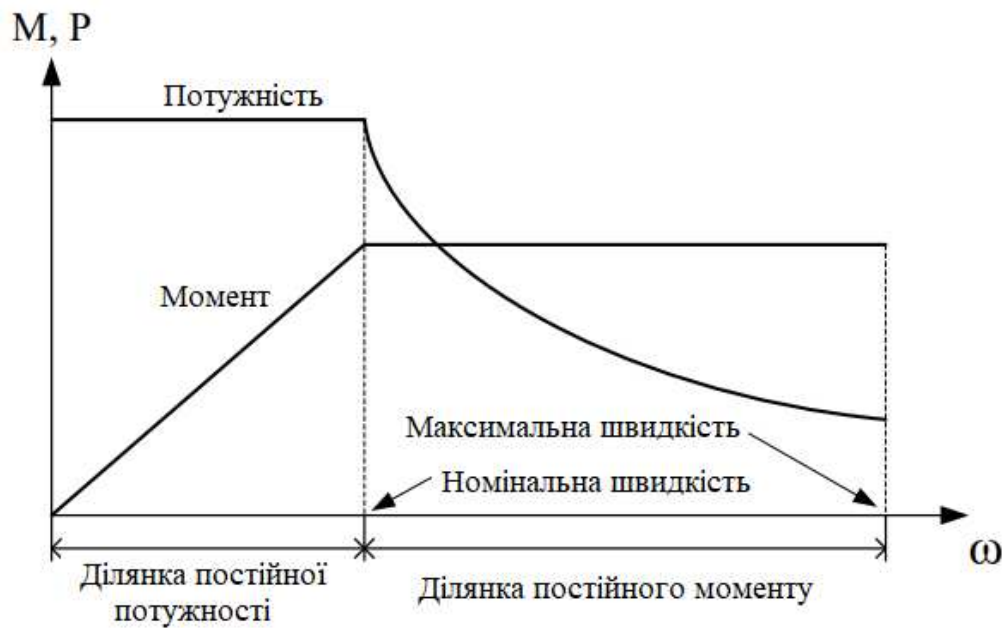


Рисунок 1.6 – Характеристика крутного моменту та швидкості ТД

При нормальних умовах експлуатації тяговий двигун забезпечує постійний крутний момент в діапазоні від нуля до номінальної частоти обертання. При номінальній частоті обертання двигун досягає максимальної номінальної потужності. Як тільки він досягає значення номінальної швидкості, крутний момент зменшиться пропорційно його швидкості. Робота двигуна від номінальної швидкості до максимальної називається областю сталості потужності. Область сталості потужності залежить від типу двигуна та методів його керування.

Можна зробити висновок, що у складі двигун-коліс можуть застосовуватися електричні двигуни, характеристики яких відповідають наступним вимогам:

1. високий крутний момент на низьких швидкостях;

2. широкий діапазон регулювання швидкості;
3. Високий коефіцієнт питомої потужності.

Для досягнення високих динамічних характеристик найбільш важливим параметром є маса двигуна, оскільки зменшення його маси спричиняє зменшення загальної безпружинної маси безрейкового транспортного засобу. Звідси випливає, що співвідношення коефіцієнта корисної дії двигуна до його маси є головним критерієм його вибору.

Електричні двигуни, які відповідають усім вищезазначеним вимогам:

1. асинхронний електродвигун;
2. синхронний двигун із постійними магнітами;
3. безщітковий двигун постійного струму;
4. вентильний реактивний електродвигун.

Дослідження в даній магістерській кваліфікаційній роботі спрямоване на застосування безщіткового двигуна постійного струму в якості тягового електродвигуна в складі мотор-колес. Такий вибір обумовлений високим коефіцієнтом питомої потужності, низькою інерційністю ротора, високим крутним моментом на низьких частотах обертання, високим коефіцієнтом корисної дії за рахунок відсутності обмоток у роторі, а також можливістю роботи в широкому швидкісному діапазоні, у тому числі в режимі ослабленого поля.

1.3 Висновок

Розглянуто найпоширеніші варіанти компоновок тягової системи електричних транспортних засобів, зроблено вибір на користь застосування технології мотор-коліс. Застосування мотор-коліс у тяговій системі повністю виключає такі механічні вузли як зчеплення, редуктор, диференціал та півосі, що зменшує кількість деталей, і підвищує надійність системи. Ще однією перевагою мотор-коліс є економія місця для розміщення додаткового обладнання, збільшення кількості акумуляторних батарей у системі накопичення енергії або збереження простору для пасажирів. Незалежне керування моментом і частотою обертання кожного колеса говорить про те, що мотор-колеса можуть обертатися з різною частотою обертання та в різних напрямках, що значно підвищує динаміку транспортного засобу.

2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВОЇ СИСТЕМИ ТА РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

2.1 Розрахунок параметрів тягової системи транспортного засобу

Для розрахункових досліджень в якості базового транспортного засобу (ТЗ) використано параметри легкового електромобіля повною масою 921 кг. Маса транспортного засобу обрана виходячи з аналізу масогабаритних показників електромобілів, що серійно випускаються. Тяговий розрахунок складається з рівнянь для розрахунку сил, що перешкоджають руху електромобіля, та сили тяги, що долає ці опори [3-4]. Розглянемо рівняння руху транспортного засобу при переміщенні під певним кутом до горизонту з огляду на сили, що впливають на автомобіль. На рисунку 2.1 зображено сили, які діють транспортний засіб.

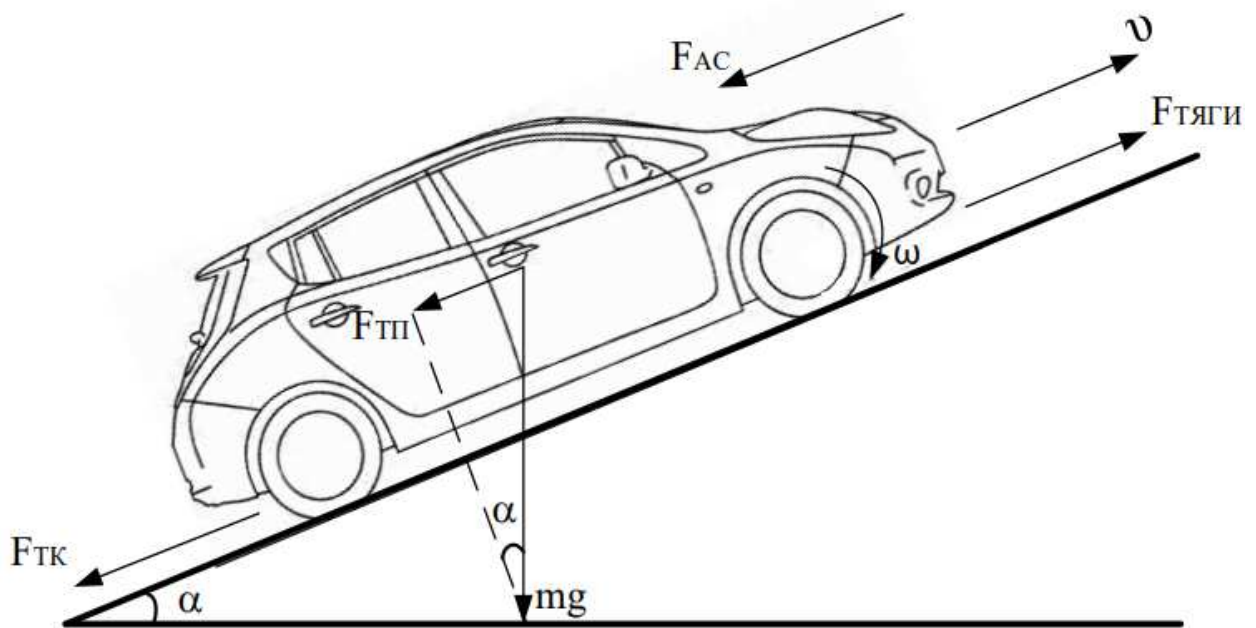


Рисунок 2.1 – Сили, що діють на транспортний засіб під час руху по похилій поверхні

$$\Sigma F = m \cdot a, \quad (2.1)$$

$$F_{\text{ТЯГИ}} = F_{\text{ТК}} + F_{\text{АО}} + F_{\text{ТП}} + m \frac{dv}{dt}, \quad (2.2)$$

де $F_{\text{ТЯГИ}}$ – сила тяги на ведучих колесах;

$F_{\text{ТК}}$ – сила тертя-кочення;

$F_{\text{АО}}$ – сила аеродинамічного опору;

$F_{\text{ТП}}$ – проекція сили тяжіння;

α – кут нахилу дорожнього покриття щодо горизонту;

ω – кутова частота обертання колеса

Розписавши значення кожної з діючих сил, рівняння набуває наступний

вид:

$$F_{\text{ТЯГИ}} = \mu_{\text{ТК}} \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot C_d \cdot v^2 + m \cdot g \cdot \sin \alpha + m \frac{dv}{dt}, \quad (2.3)$$

де $A = 2,6 \text{ м}^2$ – фронтальна площа машини;

$C_d = 0,3$ – аеродинамічний коефіцієнт опору повітря;

$\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ – густина повітря;

$r = 0,32 \text{ м}$ – радіус колеса з резиною;

$m = 921 \text{ кг}$ – маса автомобіля;

$\mu_{\text{ТК}} = 0,01$ – коефіцієнт тертя-кочення.

Момент опору, що діє на колесо автомобіля, визначається так:

$$M_{\text{К}} = F_{\text{ТЯГИ}} \cdot r, \quad (2.4)$$

Необхідний момент на валу електродвигуна визначається згідно рівняння:

$$M_{\text{ТР}} = \frac{M_{\text{К}}}{n_{\text{ДВ}} \cdot \eta_{\text{МТ}} \cdot i_{\text{КП}} \cdot i_{\text{ГП}}}, \quad (2.5)$$

де $n_{\text{ДВ}} = 4$ – кількість приводних двигунів;

$\eta_{\text{МТ}}$ – коефіцієнт корисної дії механічної трансмісії;

$i_{\text{КП}}$ – передаточне число коробки передач;

$i_{\text{ГП}}$ – передаточне число головної передачі.

Для варіанта компоновки з мотор-колесами $\eta_{\text{МТ}}, i_{\text{КП}}, i_{\text{ГП}}$ рівні одиниці.

Для розрахунку частоти обертання двигуна використовується рівняння:

$$n = \frac{60 \cdot v \cdot i_{\text{КП}} \cdot i_{\text{ГП}}}{2 \cdot \pi \cdot r}. \quad (2.6)$$

Розрахункова потужність електродвигуна визначається добутком необхідного моменту та частоти обертання:

$$P_{\text{РОЗ.}} = \frac{M_{\text{ТР}} \cdot n}{9,55}. \quad (2.7)$$

Електродвигун вибирається з умови забезпечення необхідної потужності:

$$P_{\text{ДВ}} \geq P_{\text{РОЗ.}}. \quad (2.8)$$

У таблиці 2.1 наведені дані, отримані внаслідок тягового розрахунку електропривода транспортного засобу, які використовуються для вибору електродвигуна.

Тяговий розрахунок проводиться за умови, що транспортний засіб демонструє динаміку розгону від 0 до 100 км/год за 13 секунд, відповідно прискорення транспортного засобу відповідає значенню $2,1 \text{ м/с}^2$. Такі динамічні характеристики відповідають усередненим показникам електромобілів, що серійно випускаються. За результатами тягового розрахунку обрано безколекторний двигун постійного струму з водяним

охолодженням GoldenMotor НРМ10-20КW, параметри якого наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Результати тягового розрахунку транспортного засобу

Назва параметру	Значення
Сила тяги на провідних колесах, $F_{\text{тяги}}$	2291,1 Н
Момент опору, що діє на колеса автомобіля, M_k	733,15 Н·м
Необхідний момент на валу електродвигуна, $M_{\text{роз.}}$	183,15 Н·м
Частота обертання двигуна, n	827,03 об/хв
Необхідна потужність електродвигуна, $P_{\text{роз.}}$	14071,1 Вт

Таблиця 2.2 – Характеристики двигуна GoldenMotor НРМ10-20КW

Назва параметру	Значення
Напруга	48 В
Номінальна потужність	20 кВт
Номінальний момент	100 Нм
Пікове значення моменту	200 Нм
Частота обертання	0-4500 об/хв
Матеріал корпусу	алюміній
ККД	91%
Маса	17 кг

Вибір електродвигуна за необхідною потужністю згідно з умовою (2.8) є попереднім і для остаточного вибору необхідно перевірити двигун за умовою забезпечення максимального моменту та проводити подальші уточнення при експериментальних дослідженнях або математичному моделюванні.

2.2 Аналіз експлуатаційних характеристик та типів акумуляторних батарей для транспортного засобу

З роками спостерігається активне зростання сфер застосування акумуляторних батарей. На те, в якій сфері застосування придатний елемент живлення, сильно впливають технічні характеристики акумулятора. Найбільш важливими характеристиками є: ємність, номінальна напруга батареї, глибина розряду, діапазон робочих температур, швидкість саморозряду, максимальний струм розряду/заряду, габарити та маса. Варто звернути увагу на те, що всі наведені в технічній документації характеристики батарей представлені для робочого діапазону температур від 20 до 25 °C. При підвищенні або зниженні температури навколишнього середовища, в якій експлуатується акумулятор, показники змінюються, як правило, зменшуються.

Прийнято, що мірою оцінки працездатності акумуляторної батареї є значення її ємності при розряді в номінальному режимі. Таким чином процес деградації батареї характеризується зниженням її ємності. Даний параметр вимірюється в ампер-годинниках і показує, скільки електричної енергії може зберігати в собі акумуляторна батарея. Кількість ампер-годин – це час, протягом якого акумулятор працездатний при силі струму 1 А [9-10]. При збільшенні значень струмів розряду зазвичай ємність акумуляторної батареї зменшується.

Значення номінальної напруги – ключовий параметр, яким відбувається вибір акумуляторної батареї. На сьогоднішній день поширене серійне виробництво акумуляторних батарей з наступним значенням напруги: 1,2; 2,4; 6 і 12. Для отримання більш високої напруги (24, 48, 96 і т.д.) використовують послідовне з'єднання декількох акумуляторних батаетрй з нижчим значенням напруги.

Залежно від ємності акумуляторної батареї розміри та маса змінюються, за рідкісним винятком можуть бути зміни розміру при

однаковій ємності.

Маса акумулятора є додатковим параметром джерела харчування. При виборі батареї слід звертати увагу на її масу. Більше значення маси говорить про те, що пластини, що взаємодіють з кислотою, товщі та батарея забезпечить більший циклічний ресурс та термін служби.

Свинцево-кислотні акумуляторні батареї.

Історично склалося, що свинцево-кислотний тип джерела струму є першим акумулятором, що перезаряджається. Внаслідок цього саме такі акумуляторні батареї стали першими у застосуванні в комерційних цілях. Сучасні розробки акумуляторів з таким типом хімії зазнали значних змін. Зміни торкнулися електроліту, який був замінений просоченим сепаратором або гелеподібним електролітом і корпусом акумулятора, який став герметичним і не потребує періодичного додавання електроліту. Як запобіжний засіб у конструкції герметичних акумуляторів передбачені запобіжні клапани, які служать для стравлювання надлишку тиску.

У порівнянні з іншими типами хімічних джерел струму, свинцево-кислотні акумуляторні батареї мають найнижчу щільність енергії, але найвищу ємність. У зв'язку з цим їх застосування обмежене тими областями, де потрібна велика потужність, але не відіграють визначальної ролі маса і габарити джерела енергії. Здебільшого, це джерела безперебійного харчування живлення та біомедичне обладнання.

Великим плюсом цього типу хімічного джерела струму є дуже невеликий саморозряд. Також, варто відзначити ще одну перевагу – відсутність ефекту пам'яті, це означає, що тренувальних циклів робити не потрібно.

Недоліками цього хімічного джерела струму є навантажувальні характеристики. Свинцево-кислотні акумулятори не переносять великих струмів навантаження та глибокого розряду. При експлуатації в екстремальних режимах швидко настає деградація батареї, яка виражається в

зниженні продуктивності та подальшій втраті ємності, що призводить до необхідності заміни джерела струму.

Також, на термін служби свинцево-кислотних акумуляторів сильно впливає діапазон робочих температур. Оптимальним є експлуатація акумулятора при температурі повітря 25° С, кожні додаткові 8° С докілья скорочують термін служби акумулятора вдвічі.

Нікель-кадмієві акумулятори.

В порівнянні зі свинцево-кислотними, технологія розробки нікель-кадмієвих акумуляторів є однією з найстаріших з тих, що сьогодні використовуються. Це їх перевага, оскільки технологія їх виробництва добре вивчена і відпрацьована.

Для нікель-кадмієвих акумуляторів швидкий заряд краще повільного. Крім того, краще використовувати не заряд незмінним струмом, а імпульсний.

Перевагами нікель-кадмієвих акумуляторів, в порівнянні з іншими типами хімії: здатність відмінно витримувати великі струми та переносимість роботи в екстремальних температурних діапазонах.

Постійна підзарядка не повністю розряджених нікель-кадмієвих акумуляторів негативно позначається на їхній працездатності. Такому типу хімічного джерела струму необхідний періодичний повний розряд, оскільки він запобігає появі великих кристалічних утворень на електродах осередків акумулятора. Процес формування цих утворень називається ефектом пам'яті.

Область застосування нікель-кадмієвих акумуляторів є досить широкою: портативні радіостанції, медичне, радіоелектронне обладнання, професійні відеокамери, електроінструменти. Нікель-кадмієві акумулятори становлять близько 50% від кількості акумуляторів для портативної техніки. Однак, розвиток нових типів акумуляторів з більш високою щільністю енергії, відсутністю ефекту пам'яті та використанням більш екологічно чистих технологій поступово знижують використання цього типу

аккумуляторів у порівнянні з новими типами.

Літій-іонні аккумуляторні батареї.

Залежно від матеріалів, що використовуються при виробництві літієвих аккумуляторних батарей і реалізованих технологій, їх можна розділити на кілька типів.

Великою перевагою літій-іонних аккумуляторів перед іншими типами аккумуляторних батарей є висока щільність енергії, що дозволяє об'єкту працювати довше в автономному режимі за скромного розміру джерела струму [11-12]. Також, варто відзначити, що літій-іонні аккумуляторні батареї мають низьку швидкість саморозряду, яка ледь помітна. До того ж вони здатні витримувати велику кількість циклів розряд-заряд, не втрачаючи свою ємність, що дозволяє їх використовувати на довгостроковій основі.

Важлива особливість літій-іонних джерел живлення – малий час заряду, який може досягати часом від 2-х до 3-х годин.

Рекомендується не допускати повного заряду літій-іонної аккумуляторної батареї, оскільки висока напруга призводить до розбалансування батареї. Необхідно правильно вибрати нижній поріг напруги, щоб продовжити термін служби батареї та отримати оптимальний час автономної роботи об'єкта, який отримує живлення від аккумулятора.

Висока щільність енергії, відсутність саморозряду та висока швидкість заряджання дозволяють використовувати літій-іонні аккумулятори в більшості мобільних пристроїв, електроінструментів та електромобілях.

Суперконденсатори.

Основним видом пристроїв для зберігання електричної енергії є хімічні джерела струму – аккумуляторні батареї. Однак варто звернути увагу на ще один вид накопичувачів енергії – суперконденсатори чи іоністори. Суперконденсатори не є хімічним джерелом струму, на відміну від аккумуляторів, вони нічого не виробляють, а запасають та віддають заряд у

готовому вигляді.

У порівнянні з акумуляторами, суперконденсатори мають ряд переваг. Насамперед, це швидкість зарядки. Суперконденсатор може швидко заряджатися. Найчастіше на практиці швидкість процесу заряду обмежена можливостями зарядного пристрою та кабелів, що подають струм [14-15].

Друга перевага полягає у довговічності. Суперконденсатор здатний витримати і 10, і 100 тисяч, і навіть мільйон циклів без наслідків подальшої роботи. Слід зазначити, що характеристики суперконденсаторів слабо залежать від робочого температурного діапазону. Вони не дуже токсичні, більшість речовин, що використовуються в конструкції, хімічно не такі активні, наприклад, як літій, а тому безпечні і більш прості в утилізації.

Головний мінус суперконденсаторів – питома ємність. Вона поки що набагато нижча, ніж у акумуляторів. При подібних значеннях ємності, маса суперконденсатора може перевищувати масу акумуляторної батареї в 25 разів, що сильно обмежує сферу їх застосування.

Вибір основних характеристик акумулятора впливає на якість та термін служби джерела струму в цілому. У таблиці 2.3 показані основні характеристики, на які необхідно орієнтуватися при виборі найкращого типу акумуляторних батарей.

Таблиця 2.3 – Порівняння джерел струму для ТД

Параметр/ Тип джерела	Свинцево-кислотні	Нікель-кадмієві	Нікель-метал-гідридні	Літій-іонні	Супер-конденсатор
Номинальна напруга, В	2	1,2	1,2	3,7	2,7
Питома енергоємність, Вт год/кг	30-40	40-60	30-80	90-140	5
Питома потужність, Вт/кг	180	150	250-1000	1800	10000
Середній час заряду, год	>10	8	6	2	0,006
Кіл-ть циклів заряду/розряду, шт.	500-800	2000	800	2000	1000000
Середній саморозряд за міс., %	4	20	30	7	15

Для визначення найкращого типу тягового джерела струму

електромобіля були обрані такі характеристики:

- компактність – порівняльна характеристика, що визначає масогабаритні показники надання заданих параметрів;
- швидкий процес заряду - можливість батареї заряджатися максимальними для неї струмами менш ніж за 2,5 години;
- ефект пам'яті – процес оборотної втрати ємності, що має місце в деяких типах хімічних джерел струму при порушенні рекомендованого режиму заряду, зокрема, при підзарядці акумулятора, що не повністю розрядився;
- допустимий перезаряд – показник, що визначає припустиме значення при заряді акумулятора понад 100%;
- глибина розряду (DOD) – реальний рівень напруги, до якого можна розрядити акумулятор без шкоди для подальшої працездатності.

На підставі кількісного та якісного порівняння різних типів тягових джерел струму вибір на користь літій-іонних акумуляторних батарей обумовлений такими показниками:

- високі показники питомих характеристик;
- високі значення допустимих зарядних/розрядних струмів;
- здатність швидко заряджатися;
- велика кількість циклів розряд-заряд;
- низька швидкість саморозряду;
- відсутність ефекту пам'яті.

Єдиним суттєвим мінусом літій-іонних акумуляторних батарей є їхня висока вартість. Хоча у цьому напрямі ведуться активні дослідження та роботи, які за останні роки увінчалися успіхом.

2.3 Визначення ємності тягової акумуляторної батареї

Необхідна ємність акумуляторної батареї визначається з кількості електроенергії, яка споживається навантаженням у режимі розряду. У

нашому випадку навантаженням є безщітковий безколекторний електродвигун постійного струму. Для оцінки параметрів акумуляторної батареї, необхідно проаналізувати моделі електричних транспортних засобів, що серійно випускаються.

Варто зазначити, що у всіх представлених в аналізі електричних транспортних засобах застосовується літій-іонна акумуляторна збірка, що підтверджує вибір типу акумуляторної батареї, розглянутий попередньо. Значення величини запасу ходу отримано у рамках циклу міських випробувань WLTC (Worldwide harmonized light vehicles test cycle).

На рисунку 2.2 методом найменших квадратів виконано лінійну апроксимацію залежності запасу ходу транспортного засобу від ємності батареї [16-19].

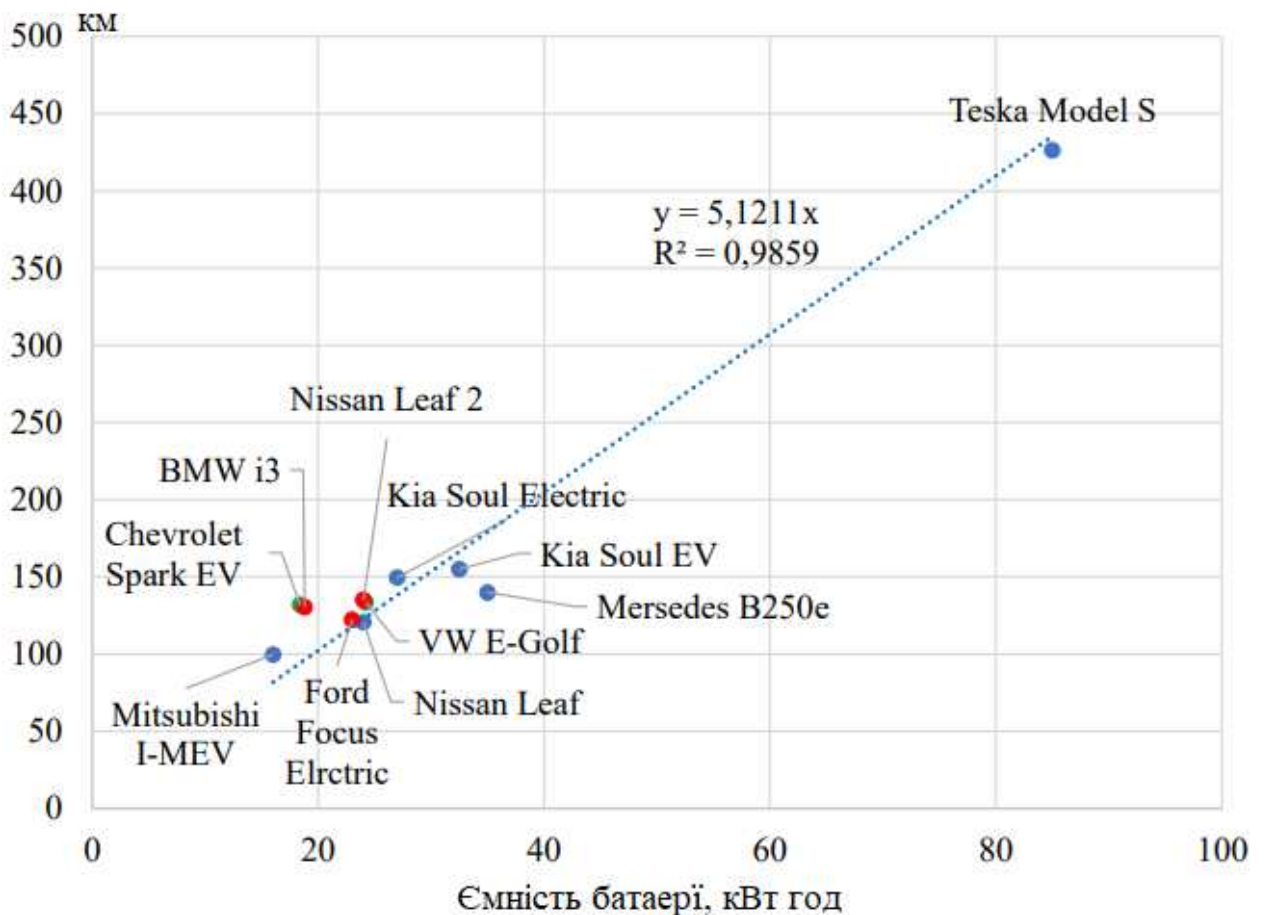


Рисунок 2.2 – Залежність запасу ходу транспортного засобу ємності батареї

Розмір достовірності R^2 становить 0,9859, що відповідає прийнятному рівню точності апроксимації. Згідно з виконаною апроксимацією, питомий показник запасу ходу становить 5,1211 кілометрів на 1 кіловат-годину ємності батареї. Відповідно, задаючи необхідний запас ходу можлива попередня оцінка ємності. Необхідно забезпечити запас ходу 150 кілометрів, що відповідає середньому значенню запасу ходу для проаналізованих у роботі електричних транспортних засобів. Відповідно до статистики середній пробіг автомобіля на день перебуває у проміжку від 50,8 до 65,2 кілометрів. Значення електроємності становить 29,3 кіловат-години.

Відповідно, задаючись необхідною енергоємністю батареї транспортного засобу, можлива попередня оцінка маси батареї. Відповідно, маса акумуляторної батареї для отриманого значення енергоємності становить 242 кілограми.

2.4 Розробка функціональної схеми тягової системи транспортного засобу

Сигнал завдання швидкості формується в залежності від величин сигналів, що надходять з педалі газу та датчика повороту керма. Дані сигнали надходять у блок електронного диференціалу, де обробляються з допомогою спеціального алгоритму з урахуванням ПІ-регулятора. На виході з електронного диференціала формуються чотири сигнали завдання швидкості кожного двигуна-колеса. Далі сигнали завдання швидкості надходять у систему керування. Система керування на виході формує сигнали керування, які регулюють відкриття та закриття ключів силового перетворювача (інвертора). Живлення силової частини електромобіля, а також кіл керування здійснюється від акумуляторної батареї.

Функціональна схема тягової системи безрейкового транспортного засобу із врахуванням чотирьох мотор-колів приведена на рисунку 2.3.

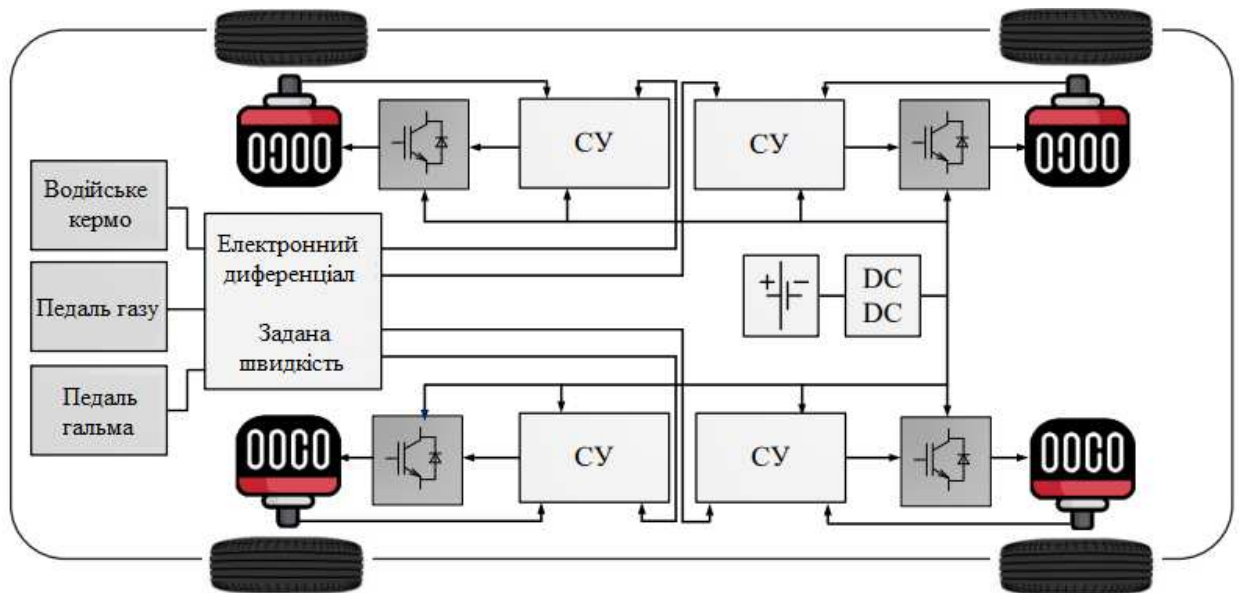


Рисунок 2.3 – Функціональна схема тягової системи транспортного засобу на базі чотирьох мотор-коліс

Відаючи перевагу варіанту реалізації тягової системи на базі мотор-коліс, необхідно загострити увагу на відсутність зубчастої передачі між двигуном та кермом. Це, в свою чергу, тягне за собою необхідність використання електронного диференціалу. Проте, застосування електронного диференціала залишає низку питань, найважливішим у тому числі є стійкість електромобіля. У нормальних умовах водіння всі системи приводних коліс вимагають симетричного розподілу крутного моменту з обох сторін. Необхідно врахувати, що симетричного розподілу моменту недостатньо, тому що при зміні коефіцієнта зчеплення шин з дорожнім покриттям колеса обертаються з різними швидкостями, це призводить до необхідності застосування системи контролю тяги. На сьогоднішній день оптимального вирішення цієї проблеми немає, питання залишається відкритим і викликає інтерес у наукових колах [4-6].

2.4 Висновок

Здійснено розрахунок та вибір типу тягового двигуна для транспортного засобу – безколекторного двигуна постійного струму, попередньо оцінено потужність обраного двигуна. Такий вибір обумовлений високим коефіцієнтом питомої потужності, низькою інерційністю ротора, високим крутним моментом на низьких частотах обертання, високим коефіцієнтом корисної дії за рахунок відсутності обмоток у роторі, а також можливістю роботи в широкому швидкісному діапазоні, у тому числі в режимі ослабленого поля.

Розглянуто основні типи накопичувачів, що застосовуються в електричних транспортних засобах. Вибір зроблено на користь літій-іонних акумуляторних батарей через низку переваг, зокрема: високі показники питомих характеристик; високі значення допустимих зарядних/розрядних струмів; здатність швидко заряджатися; велика кількість циклів розряд-заряд; низька швидкість саморозряду.

Запропоновано функціональну схему тягової системи транспортного засобу на базі чотирьох мотор-коліс.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ШВИДКОСТІ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ НА БАЗІ МОТОР-КОЛІС

3.1 Математична модель електронного диференціалу транспортного засобу

В автомобільній техніці електронний диференціал є пристроєм, який забезпечує необхідний крутний момент для кожного привідного колеса і допускає різні швидкості обертання коліс. Він використовується замість механічного диференціалу у багатопривідних системах. При проходженні поворотів внутрішнє та зовнішнє колеса повинні обертатися з різною швидкістю, тому що внутрішні колеса мають менший радіус повороту. Електронний диференціал використовує сигнал управління рульовим колесом і сигнали швидкості двигуна для управління потужністю кожного колеса, щоб усі колеса отримували необхідний крутний момент. Диференціал, в свою чергу, розподіляє потужність, що прикладається до коліс, в такий спосіб, що внутрішнє колесо уповільнюється, а зовнішнє прискорюється. Таким чином, виходить уникнути заносів та покращити керованість автомобіля [8-9]. На рисунку 3.1 приведено траєкторію руху коліс електромобіля при повороті.

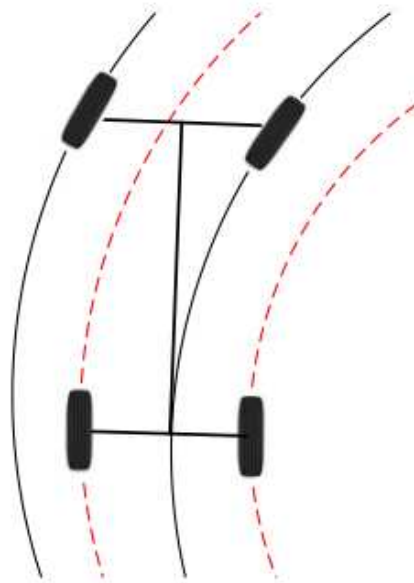


Рисунок 3.1 – Траєкторія руху коліс електромобіля при повороті

Класична автомобільна трансмісія складається з одного двигуна внутрішнього згорання, що передає крутний момент тільки на одну з осей або відразу на обидві осі. Найбільш поширене рішення – використання механічного пристрою для розподілу крутного моменту на колеса. Механічний диференціал забезпечує різну частоту обертання коліс на поворотах. З появою електромобілів можливі нові зміни трансмісії. Системи з кількома приводами спрощуються у використанні завдяки великій питомій потужності електродвигунів. Ці системи зазвичай з одним двигуном на провідне колесо, потребують додаткового контролера верхнього рівня, який виконує ту саму задачу, що й механічний диференціал. Схема ЕД має ряд переваг перед механічним диференціалом:

- простота – дозволяє уникнути додаткових механічних деталей, таких як коробка передач, редуктор чи зчеплення;
- покращення масогабаритних показників усього транспортного засобу;
- незалежний крутний момент для кожного колеса забезпечує додаткові можливості (наприклад, контроль тяги, контроль стабілізації);
- реконфігурованість – можливість перепрограмувати систему керування для включення нових функцій або налаштувати відповідно до уподобань водія;
- дозволяє реалізувати розподілене рекуперативне гальмування;
- крутний момент не обмежується колесом з найменшим зчепленням, як з механічним диференціалом.
- швидкіший час відгуку гарантує швидкодію системи;
- точне знання тягового моменту на колесо.

Розглянемо математичний опис електронного диференціала задніх привідних коліс з приводом на кожне колесо [12-14]. Щоб реалізувати функції електронного диференціала, необхідно скласти рівняння, що показують залежність величини сигналів завдання двигунів лівого та правого коліс в залежності від поточної швидкості та радіусу дуги, по якій відбувається поворот. Радіус повороту залежить від кута повороту рульового

колеса δ .

На рисунку 3.2 представлена модель траєкторії руху транспортного засобу при повороті ліворуч, де L – довжина колісної бази автомобіля, d – ширина колісної бази, v – лінійна швидкість автомобіля, v_R та v_L – лінійні швидкості лівого та правого коліс під час повороту, R – радіус повороту, ω – кутова швидкість повороту автомобіля.

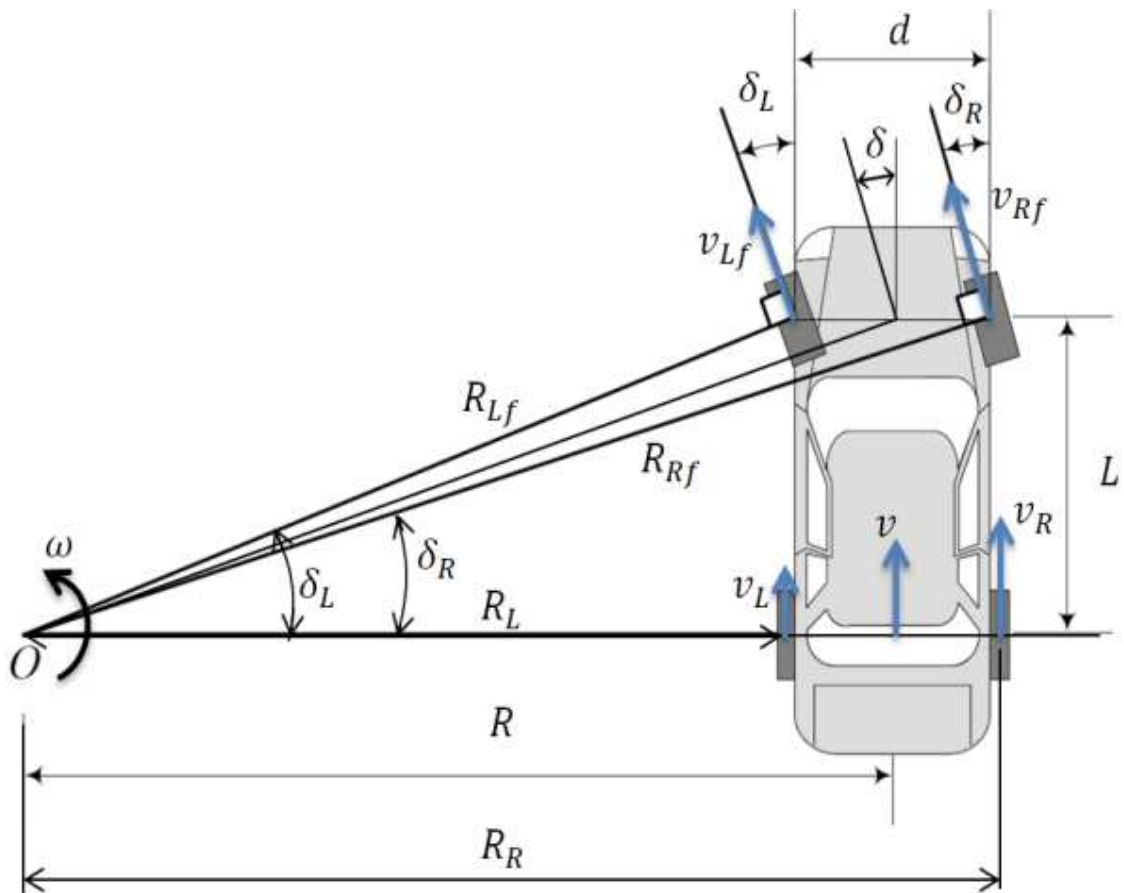


Рисунок 3.2 – Модель траєкторії руху

Виконуємо розрахунок радіусу повороту:

$$R = \frac{L}{\operatorname{tg} \delta}, \quad (3.1)$$

Тоді радіуси повороту лівого та правого коліс відповідно дорівнюють:

$$R_L = R - \frac{d}{2} = R - \frac{L}{\operatorname{tg}\delta}, \quad (3.2)$$

$$R_R = R + \frac{d}{2} = R + \frac{L}{\operatorname{tg}\delta}. \quad (3.3)$$

Вважатимемо, що значення v і δ відомі, тому що ці змінні є заданими, тобто водій транспортного засобу сам задає значення швидкості за допомогою педалі газу, а значення кута повороту задається за допомогою керма. Знаходимо кутову частоту обертання ω , з якою обертається електромобіль під час повороту:

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{v \cdot \operatorname{tg}\delta}{L}. \quad (3.4)$$

Визначаємо значення лінійних швидкостей коліс vR та vL , користуючись співвідношеннями, одержаними вище:

$$v_R = \omega \cdot R_R = \frac{v \cdot \operatorname{tg}\delta}{L} \cdot \left[\frac{L}{\operatorname{tg}\delta} + \frac{d}{2} \right] = v \cdot \left[1 + \frac{d \cdot \operatorname{tg}\delta}{2L} \right], \quad (3.5)$$

$$v_L = \omega \cdot R_L = \frac{v \cdot \operatorname{tg}\delta}{L} \cdot \left[\frac{L}{\operatorname{tg}\delta} - \frac{d}{2} \right] = v \cdot \left[1 - \frac{d \cdot \operatorname{tg}\delta}{2L} \right]. \quad (3.6)$$

Таким чином, співвідношення (3.5) і (3.6) показують, якими повинні бути значення швидкостей лівого та правого коліс залежно від кута повороту та загальної швидкості руху. Очевидно, що при $\delta = 0$, тобто коли автомобіль рухається прямолінійно, $vR = vL = v$. Для електронного диференціала повнопривідного автомобіля частота обертання задніх коліс визначається також як було показано вище, тому опишемо алгоритм визначення частоти обертання тільки передніх коліс.

Особливістю моделі повнопривідного електромобіля є те, що передні колеса повертаються на різний кут. Це необхідно для того, щоб центри кіл, якими рухаються всі чотири колеса, знаходилися в одній точці. У разі коли

колеса повернені на однаковий кут, внутрішнє колесо ковзає по дорожньому покриттю, що призводить до погіршення керованості, небажаного нагрівання та зносу шин. Принцип повороту передніх коліс на різну величину кута, коли внутрішнє колесо повертається на більший кут, ніж зовнішнє, називається принципом Аккермана. Принцип Аккермана визначає геометрію кермового керування, яка застосовується для будь-яких транспортних засобів, з метою забезпечення коректного кута повороту керованих коліс при проходженні повороту. До того, як принцип було розроблено, транспортні засоби того часу були забезпечені паралельними кермовими важелями і страждали від поганих характеристик кермового керування. Рудольф Аккерман відомий розробкою принципу використання похилих кермових важелів, який усуває проблему кермового керування у транспортних засобах [24-25].

Для знаходження швидкостей передніх коліс v_{Rf} та v_{Lf} визначимо спочатку радіуси повороту R_{Rf} та R_{Lf} :

$$R_{Lf} = \frac{L}{\operatorname{tg}\delta_L}, \quad (3.7)$$

$$R_{Rf} = \frac{L}{\operatorname{tg}\delta_R}. \quad (3.8)$$

де δ_L та δ_R – кути повороту лівого та правого коліс відповідно.

Тоді, використовуючи вираз (3.4), запишемо вирази для v_{Rf} та v_{Lf} :

$$v_{Rf} = \omega \cdot R_{Rf} = \frac{v \cdot \operatorname{tg}\delta}{L} \cdot \frac{L}{\operatorname{tg}\delta_R} = \frac{v \cdot \operatorname{tg}\delta}{\operatorname{tg}\delta_R}, \quad (3.9)$$

$$v_{Lf} = \omega \cdot R_{Lf} = \frac{v \cdot \operatorname{tg}\delta}{L} \cdot \frac{L}{\operatorname{tg}\delta_L} = \frac{v \cdot \operatorname{tg}\delta}{\operatorname{tg}\delta_L}. \quad (3.10)$$

Далі визначаємо δ_L та δ_R , скориставшись наступними співвідношеннями:

$$ctg\delta_R - ctg\delta_L = \frac{d}{L}, \quad (3.11)$$

$$ctg\delta = \frac{ctg\delta_R - ctg\delta_L}{2}. \quad (3.12)$$

Отримуємо:

$$\delta_R = \text{arcctg} \left[ctg\delta + \frac{d}{2L} \right], \quad (3.13)$$

$$\delta_L = \text{arcctg} \left[ctg\delta - \frac{d}{2L} \right], \quad (3.14)$$

Підставляємо (3.11) та (3.12) у вирази (3.9) та (3.10):

$$v_{Rf} = \frac{v \cdot tg\delta}{\sin \left[\text{arcctg} \left[ctg\delta + \frac{d}{2L} \right] \right]}, \quad (3.15)$$

$$v_{Lf} = \frac{v \cdot tg\delta}{\sin \left[\text{arcctg} \left[ctg\delta - \frac{d}{2L} \right] \right]}, \quad (3.16)$$

Таким чином, отримані рівняння (3.5), (3.6), (3.15) і (3.16), що показують залежність лінійних швидкостей коліс в функції заданої швидкості v і кута повороту керма δ .

На основі рівнянь (3.5), (3.6), (3.15) та (3.16) складено структурну схему електронного диференціала, представлену на рисунку 3.3.

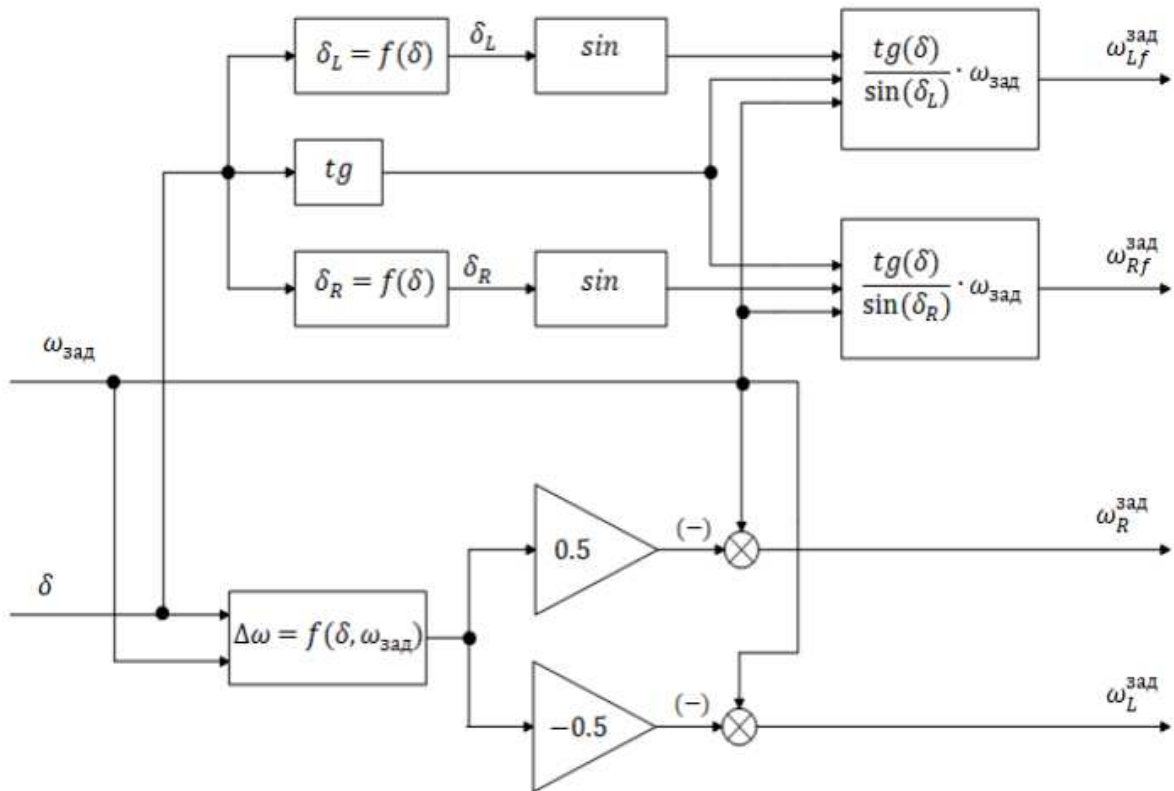


Рисунок 3.3 – Структурна схема електронного диференціала

3.2 Система стабілізації швидкості транспортного засобу на базі ПД-регулятора

Контур регулювання лінійної швидкості транспортного засобу – це зовнішній контур, який забезпечує плавну зміну швидкості, відсутність статичної помилки регулювання та стійкість до перешкод. Для вирішення поставлених завдань можливий синтез ПІ або ПД-регулятора. Якщо регулювання швидкості здійснюється за допомогою ПІ-регулятора, рівняння регулятора має такий вигляд:

$$U(t) = K_p \cdot e(t) + K_1 \int_0^t e(t) dt, \quad (3.17)$$

$$e(t) = x_0(t) - y(t), \quad (3.18)$$

де $e(t)$ – сигнал помилки регулювання; x_0 – задаючий вплив; $y(t)$ – вихідний сигнал об'єкта управління; $U(t)$ – вихідний сигнал регулятора, який

є керуючим впливом; K_P , K_I – коефіцієнти пропорційної та інтегральної складових відповідно.

Якщо ж регулювання швидкості здійснюється за допомогою ПІД регулятора, то рівняння матиме вигляд:

$$U(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{d}{dt} e(t), \quad (3.19)$$

де K_D – коефіцієнт диференційної складової.

Одним із поширених методів стабілізації лінійної швидкості транспортного засобу є система стабілізації швидкості з ПІД регулятором, заснованим на емпіричному підході, при якому закон управління вибирається за будь-яких логічних структур і строгому математичному описі [21].

На рисунку 3.4 приведена система стабілізації швидкості електричного транспортного засобу на базі безколекторного двигуна постійного струму BLDC у складі мотор-колеса з живленням від автономного інвертора напруги АІН.

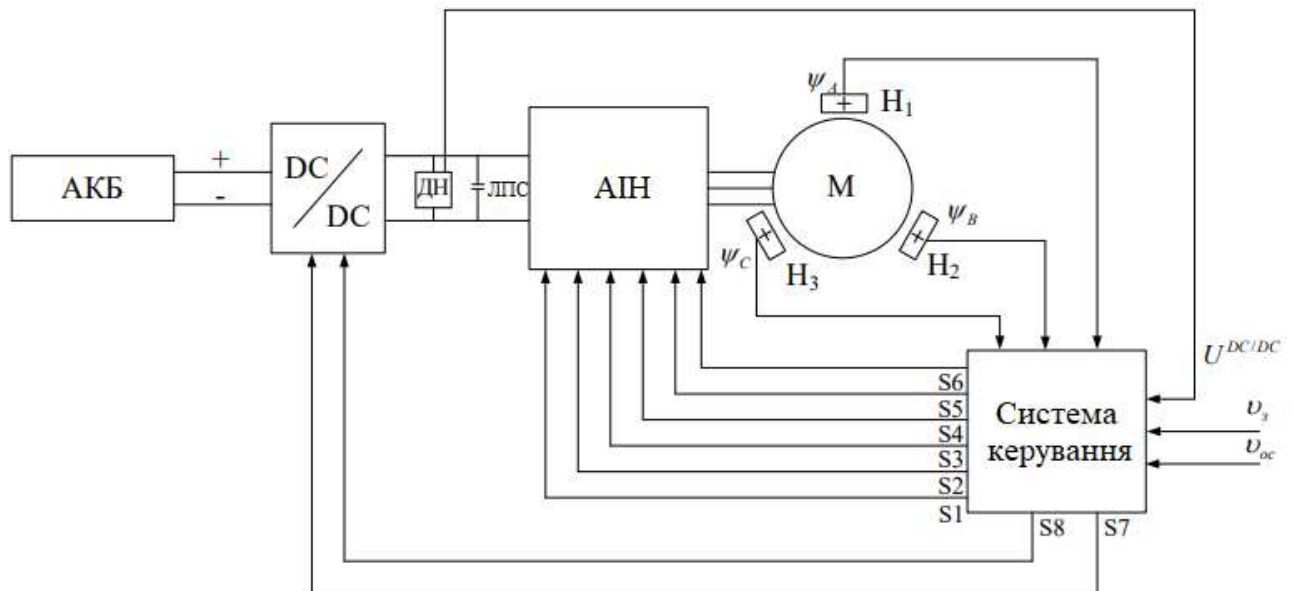


Рисунок 3.4 – Функціональна схема системи стабілізації лінійної швидкості руху транспортного засобу

Кожна складова регулятора (пропорційна, інтегральна та

диференціальна) виконує своє завдання, надаючи свій специфічний вплив на функціонування системи: • пропорційна складова відповідає за цей час, реагуючи на поточну помилку регулювання; • диференційна складова визначає майбутнє, реагуючи на тенденцію зміни помилки; • інтегральна складова відповідальна за минуле, накопичуючи попередні помилки та згладжуючи високочастотні шуми. Виходи цих елементів складаються між собою та формують керуючий сигнал на вході системи. ПІД-регулятори ефективні в управлінні різними об'єктами та процесами, у тому числі й система стабілізації швидкості транспортних систем.

На рисунку 3.5 приведена функціональна схема стабілізації лінійної швидкості руху безрейкового транспортного засобу із застосуванням ПІД регулятора. Живлення всієї системи здійснюється від блоку акумуляторної батареї АКБ, для узгодження рівня напруги ланки постійного струму ЛПС та АКБ застосовується DC-DC перетворювач. Блок АКБ включає збірку акумуляторів та систему управління. Система стабілізації швидкості включає три контури регулювання. Зовнішній контур регулювання – контур стабілізації лінійної швидкості транспортного засобу з урахуванням ПІД – регулятора. В якості сигналу завдання приймається сигнал, що формується водієм, що надходить з акселератора. Сигнал зворотного зв'язку – це сигнал із датчика лінійної швидкості транспортного засобу. Наступним, підпорядкованим йому контуром, є контур стабілізації кутової частоти обертання двигуна – колеса (або контур регулювання обертів). В якості сигналу завдання приймається сигнал з виходу системи електронного диференціала СЕД, а сигнал зворотного зв'язку – це сигнал з датчика кутової частоти обертання – ВР. Підсистема електронного диференціалу коригує сигнал завдання, що надходить із ПІД-регулятора, залежно від кута повороту коліс.

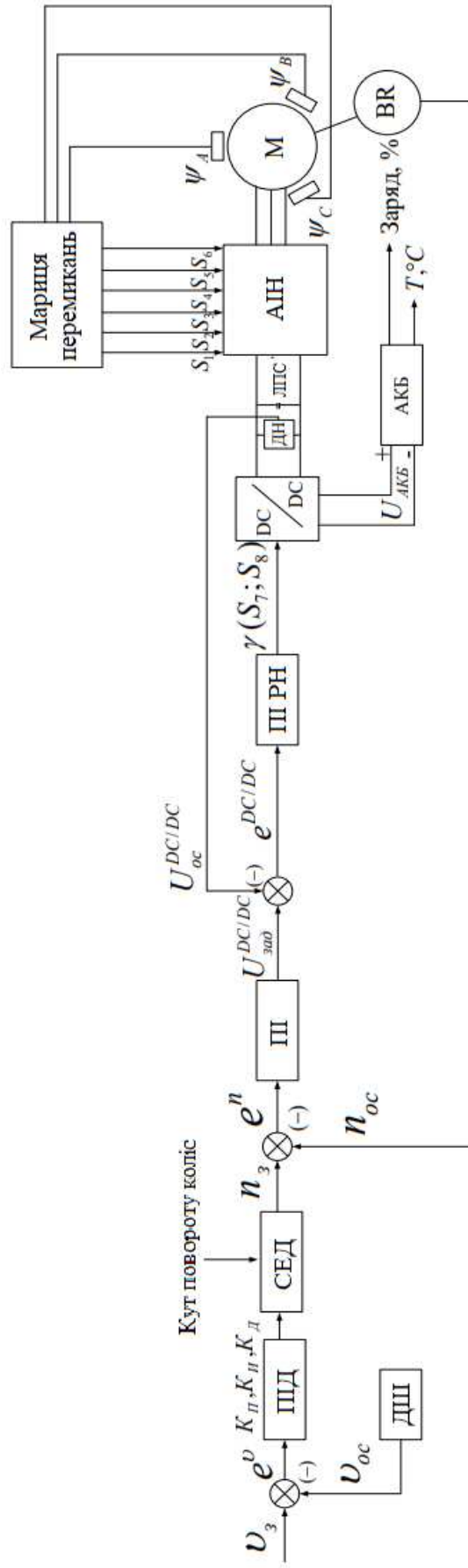


Рисунок 3.5 – Функціональна схема алгоритму стабілізації лінійної швидкості руху транспортного засобу

Блок перетворення швидкості транспортного засобу є системою математичних рівнянь, що описують перетворення швидкості руху контрольної точки в кутову швидкість руху кожного колеса. В цьому блоці може бути закладено перетворення для будь-якої конфігурації колісної бази: одноколісної, диференціальної, автомобільної з розрахунком електричного диференціала тощо. Отримані сигнали з даними про бажану швидкість обертання коліс подаються на систему управління електроприводів цих коліс, де здійснюється управління електричними машинами, встановленими в транспортному засобі. Внутрішній контур регулювання – це контур стабілізації напруги з урахуванням ПІ-регулятора напруги ПІ РН. В якості сигналу завдання виступає сигнал з виходу ПІ-регулятора кутової частоти обертання мотор-колеса, а в якості сигналу зворотного зв'язку – сигнал з датчика напруги ДН ланки постійного струму. Вихідним сигналом регулятора ПІ РН є шпаруватість γ , необхідна для формування комутаційних функцій S7 та S8 алгоритму перемикання ключів DC-DC перетворювача. Перемикання ключів АІН виконується за допомогою таблиці перемикань у функції кутового положення ротора BLDC, при цьому формуються комутаційні функції S1 – S6 на відповідні ключі АІН. Кутове положення ротора BLDC оцінюється за допомогою трьох датчиків Холла Н1 – Н3, встановлених у кожній фазі двигуна і виконуючих вимірювання потокозчеплень кожної з фаз.

Синхронний DC/DC перетворювач.

До компонентів електричних транспортних засобів висуваються підвищені вимоги надійності та безпеки. Внаслідок чого до DC/DC перетворювачів, що застосовуються у складі силового електроустаткування електричних транспортних засобів, також пред'являються аналогічні вимоги при розробці:

- відповідність номінальної вхідної напруги перетворювача напруги блоку акумуляторної батареї;

- відповідність меж зміни вихідної напруги перетворювача напрузі на вході трифазного інвертора;
- стабілізація вихідної напруги перетворювача незалежно від рівня заряду акумуляторної батареї;
- сигналізація про підвищення вхідної та вихідної напруги вище максимального значення;
- захист від коротких замикань та перевантажень;
- наявність примусової системи повітряного чи рідинного охолодження;
- забезпечення безперебійної роботи при впливі різних механічних та кліматичних факторів;
- забезпечення двонаправленої передачі потужності рекуперації у гальмівних режимах електричного транспортного засобу;
- можливість відключення будь-якого з паралельно працюючих каналів при коротких замиканнях без відключення інших працюючих перетворювачів для забезпечення безперебійного електропостачання тягового електроприводу електричного транспортного засобу [22-24].

Однофазний двонаправлений перетворювач, схема якого приведена на рисунку 3.6, може працювати у режимі зниження і підвищення напруги як жорсткої, так і м'якої комутації.

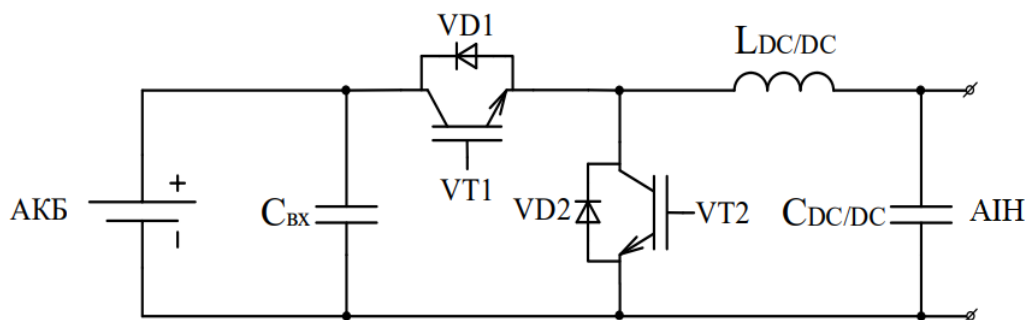


Рисунок 3.6 – Схема синхронного DC/DC перетворювача

Перетворювач складається з двох силових напівпровідникових ключів VT1 та VT2, двох конденсаторів $C_{вх}$ та $C_{DC/DC}$, а також індуктивності $L_{DC/DC}$.

Ключі VT1 і VT2 є комплементарними, тобто у провідному стані завжди знаходиться лише один із двох ключів, що означає відсутність наскрізних струмів у схемі.

Слід відзначити, що схема DC/DC перетворювача може працювати в режимі безперервної провідності, в якому струм навантаження, що протікає через індуктивність LDC/DC ніколи не досягає нульового значення, і в режимі переривчастої провідності, коли струм навантаження, що протікає через індуктивність LDC/DC деякий час може дорівнювати нулю. Однофазний двонаправлений перетворювач зазвичай проектується і конструюється так, щоб пульсації струму становили 20...50% від номінального струму навантаження. Змінюючи шпаруватість керуючого імпульсу на ключі DC/DC перетворювача можна регулювати напругу ланки постійного струму від U_{\min} до $U_{\text{акб}}$.

3.3 Висновок

Розроблено систему стабілізації лінійної швидкості транспортного засобу на базі ПД – регулятора. Система включає блок системи управління двигуном, а також математичну модель самого двигуна. Для забезпечення якості перехідного процесу реалізовано триконтурну систему управління. Зовнішній контур регулювання – контур стабілізації лінійної швидкості транспортного засобу з урахуванням ПД-регулятора. Наступним, підпорядкованим йому контуром, є контур стабілізації кутової частоти обертання мотор-колеса з урахуванням П-регулятора (чи контур регулювання обертів). Внутрішній контур регулювання – це контур стабілізації напруги ланки постійного струму з урахуванням П-регулятора напруги.

4 МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В ППП MATLAB SIMULINK

4.1 Моделювання системи електронного диференціалу

Імітаційні моделі електронного диференціала на базі чотирьох мотор-колес в ППП MATLAB Simulink приведена на рисунках 4.1 та 4.2 [19-20].

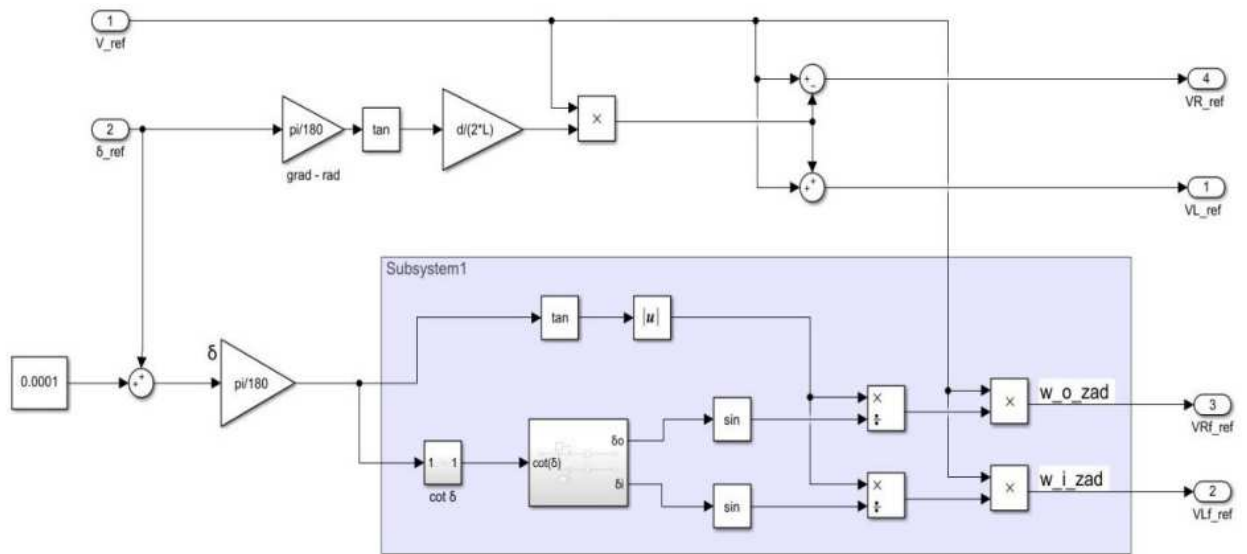


Рисунок 4.1 – Модель електронного диференціалу
на базі чотирьох мотор-колес

Імітаційна модель електронного диференціала на базі чотирьох мотор-колес включає в себе підсистему електронного диференціала, на виході якої формуються задають сигнали частоти обертання двигунів кожного колеса, величина яких залежить від подачі на вхід сигналу завдання на швидкість руху і сигналу кута повороту керма.

Підсистема двигуна включає блок системи управління двигуном, а також математичну модель самого двигуна. Для забезпечення якості перехідного процесу реалізовано триконтурну систему управління. Зовнішній контур регулювання – контур стабілізації лінійної швидкості транспортного засобу з урахуванням ПД-регулятора. Наступним,

підпорядкованим йому контуром, є контур стабілізації кутової частоти обертання мотор-колеса з урахуванням ПІ-регулятора (чи контур регулювання обертів). Внутрішній контур регулювання – це контур стабілізації напруги ланки постійного струму з урахуванням ПІ-регулятора напруги ПІ РН. Для кожного регулятора підбрано коефіцієнти, що забезпечують необхідну форму перехідного процесу.

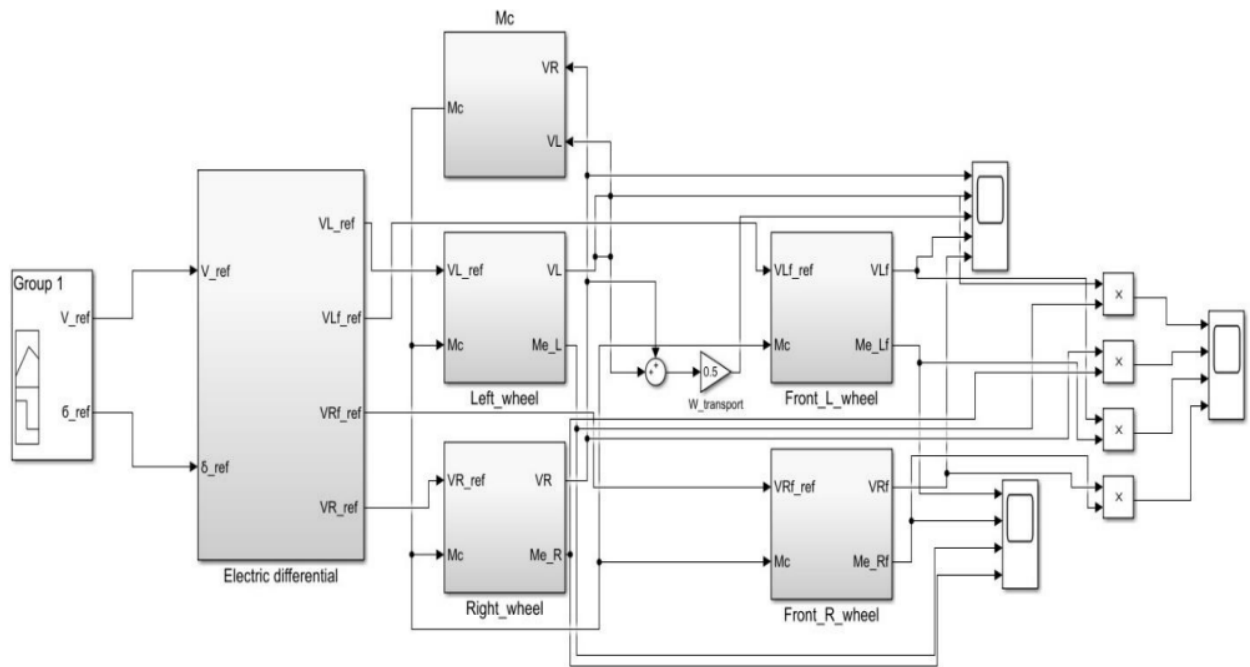


Рисунок 4.2 – Імітаційна модель системи електронного диференціалу повнопривідного електромобіля

В якості регулятора кутової частоти обертання та напруги використовується пропорційно-інтегральний регулятор (ПІ-регулятор). Застосування ПІ-регулятора обумовлено тим, що наявність інтегруючої ланки в структурі регулятора гарантує астатизм першого порядку в контурі регулювання кутової частоти обертання.

У цій моделі запропоновано принцип побудови систем управління із частотним поділом каналів управління. Принцип цього методу полягає в тому, щоб налаштувати швидкість роботи процесів у контурі регулювання відповідно до частоти протікання реальних фізичних процесів у них.

Для визначення коефіцієнтів регуляторів записуються передавальні функції замкнених контурів регулювання та прирівнюються знаменники цих передатних функцій до нормованих поліномів.

Для контуру регулювання напруги вибирається нормований поліном, що відповідає стандартній лінійній формі Бесселя, що характеризується меншим, ніж стандартна лінійна форма Баттерворта, перерегулюванням, а також досить швидким темпом перехідних процесів щодо біноміальної форми [25].

Для контуру регулювання кутової частоти обертання також вибирається нормований поліном, який відповідає стандартній лінійній формі Бесселя. Далі, прирівнявши знаменники передавальних функцій замкнених контурів регулювання до нормованих поліномів та визначивши коефіцієнти нормованих поліномів, розраховуються коефіцієнти пропорційної та інтегральної частин регуляторів.

На рисунках 4.3 та 4.4 представлені перехідні процеси за частотою обертання валу двигунів усіх коліс та перехідні процеси по моменту на валу двигунів усіх коліс відповідно.

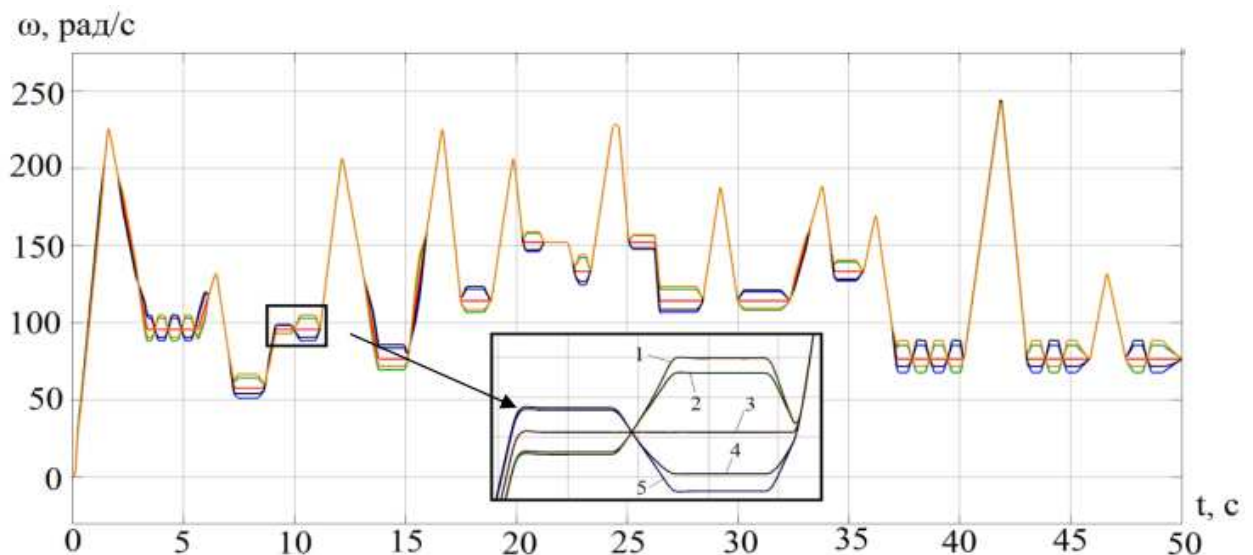


Рисунок 4.3 – Перехідний процес за частотою обертання валу двигуна (1 – ліве переднє колесо; 2 – ліве заднє колесо; 3 – середня швидкість автомобіля; 4 – праве заднє колесо; 5 – праве переднє колесо)

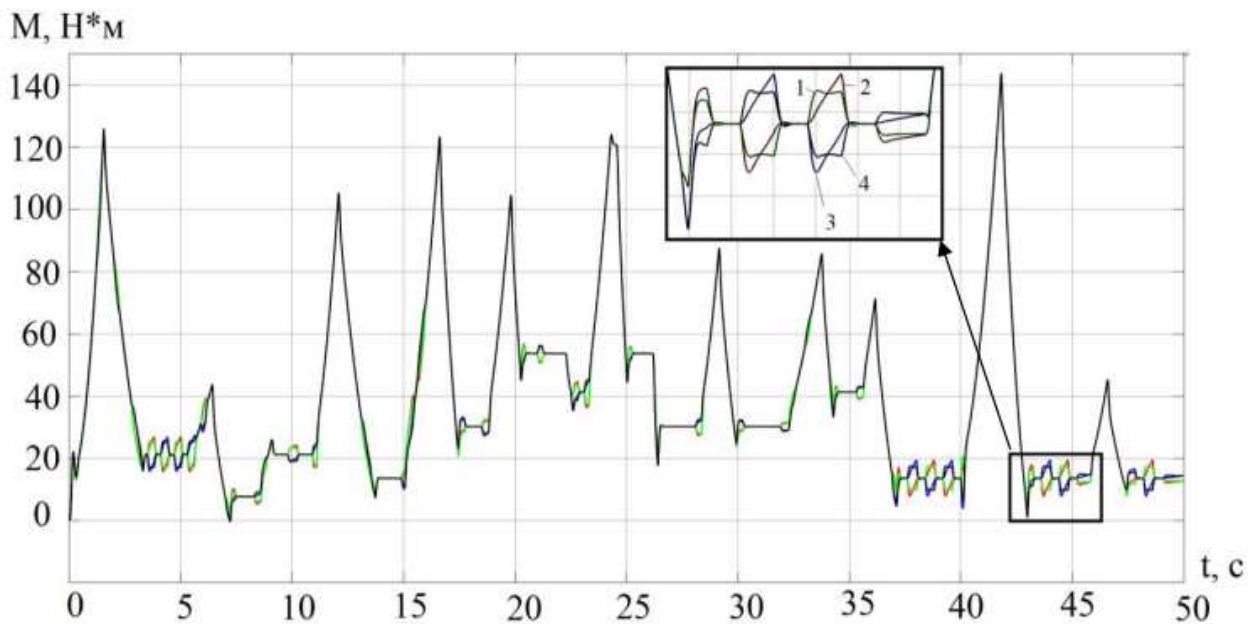


Рисунок 4.4 – Перехідний процес по моменту на валу двигуна
(1 – праве заднє колесо; 2 – ліве переднє колесо; 3 – ліве заднє колесо)
колесо; 4 – праве переднє колесо)

На рисунку 4.5 приведений перехідний процес за частотою обертання у збільшеному масштабі для наочного аналізу показників якості.

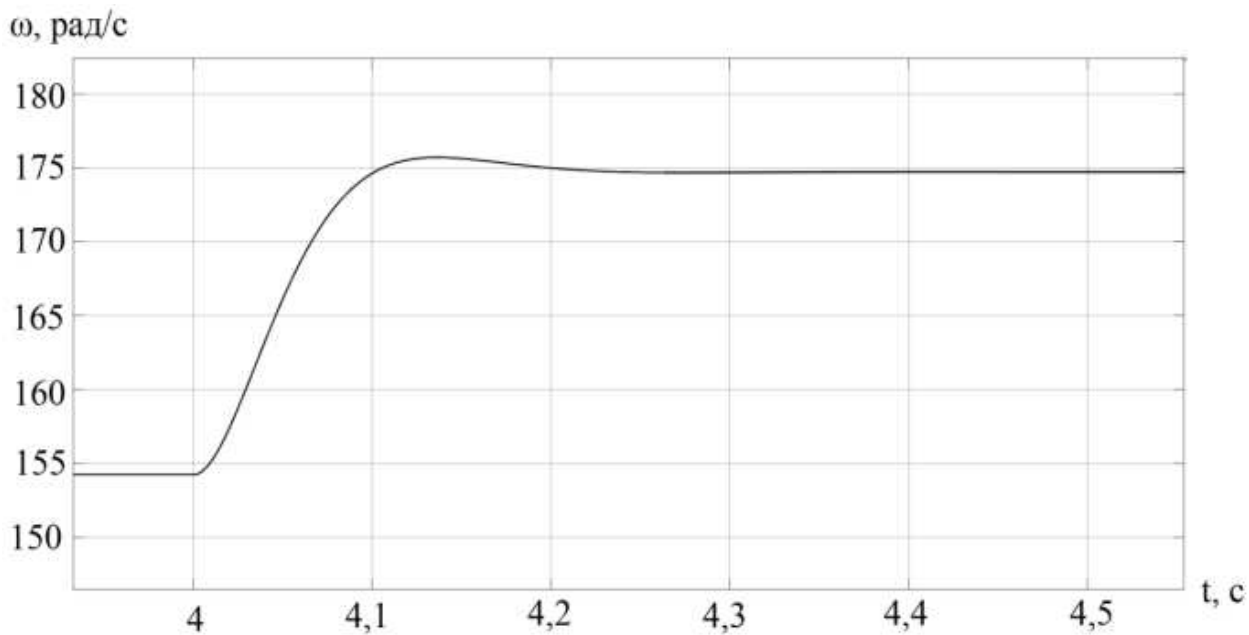


Рисунок 4.5 – Ділянка перехідного процесу за частотою обертання

Аналіз перехідних процесів дозволяє зробити висновок про працездатність синтезованої системи, оскільки швидкості обертання коліс на кожній ділянці шляху, отримані за допомогою моделювання, збігаються зі швидкостями, обчисленими за математичними рівняннями. На рисунку 4.5 можна визначити показники якості перехідного процесу за частотою обертання при повороті коліс на 15 градусів. Розмір перерегулювання становить 0,51%, час регулювання 0,093с. Такі показники якості задовольняють вимогам швидкодії системи.

4.2 Моделювання системи стабілізації лінійної швидкості транспортного засобу

Модель транспортного засобу, система стабілізації лінійної швидкості якого реалізована із врахуванням ПД-регулятора, в ППП MATLAB Simulink приведена на рисунку 4.6 [20].

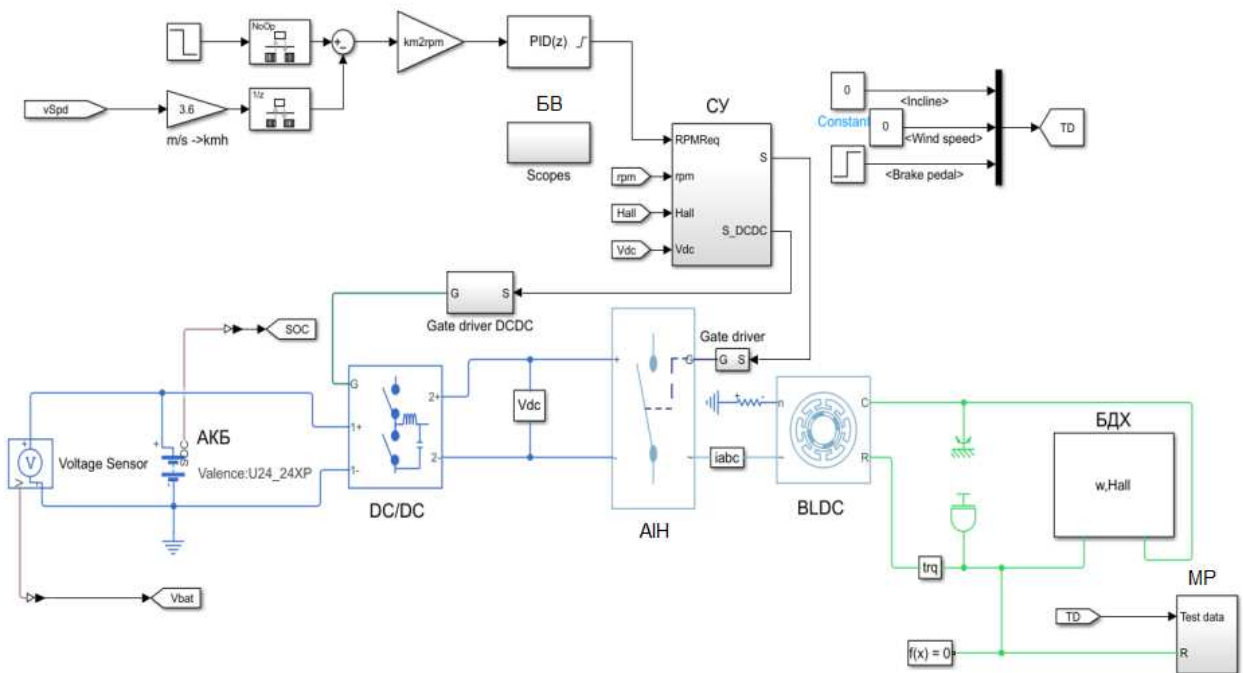


Рисунок 4.6 – Модель транспортного засобу, системи стабілізації лінійної швидкості на базі ПД – регулятора

Приведена модель включає: BLDC – безколекторний двигун постійного струму, параметри якого представлені в таблиці 2.2; DC/DC перетворювач;

АІН – автономний інвертор напруги; БДХ – блок датчиків Холла; СУ – система управління з урахуванням ПД – регулятора; АКБ – акумуляторна батарея; БВ – блок вимірів; МР – модель руху транспортного засобу.

Налаштування ПД регулятора здійснено за методом Циглера-Нікольса. Суть методу полягає в тому, що система виводиться на межу стійкості з появою автоколивань регульованої величини, після чого з аналізу параметрів автоколивань визначаються значення налаштування регулятора.

Для оцінки працездатності моделі, а також для оцінки динаміки перевіримо розгін транспортного засобу від 0 до 100 км/год. Перехідні процеси лінійної швидкості транспортного засобу, струму двигуна, а також частоті обертання приведені на рисунках 4.7, 4.8 і 4.9 відповідно.

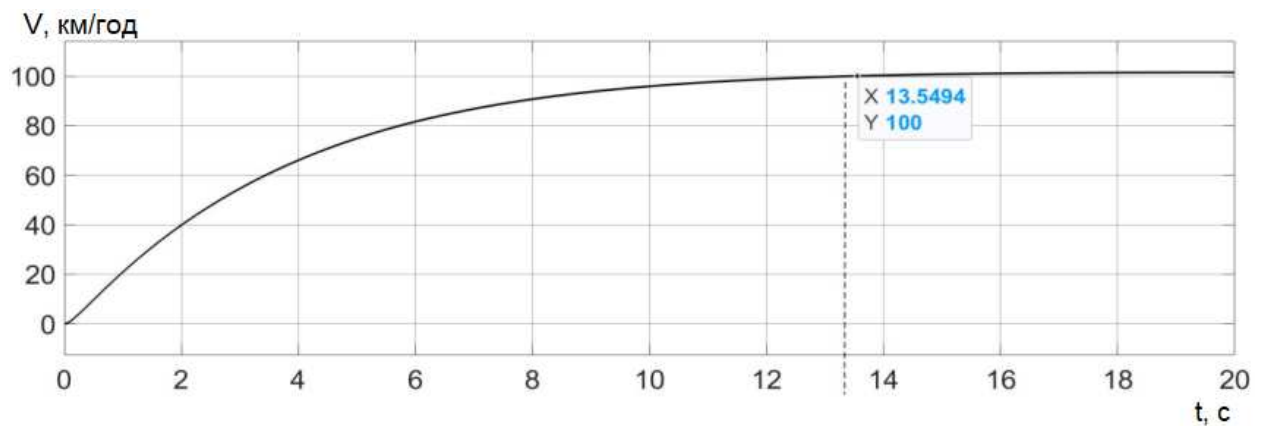


Рисунок 4.7 – Перехідний процес за лінійною швидкістю транспортного кошти при розгоні від 0 до 100 км/год

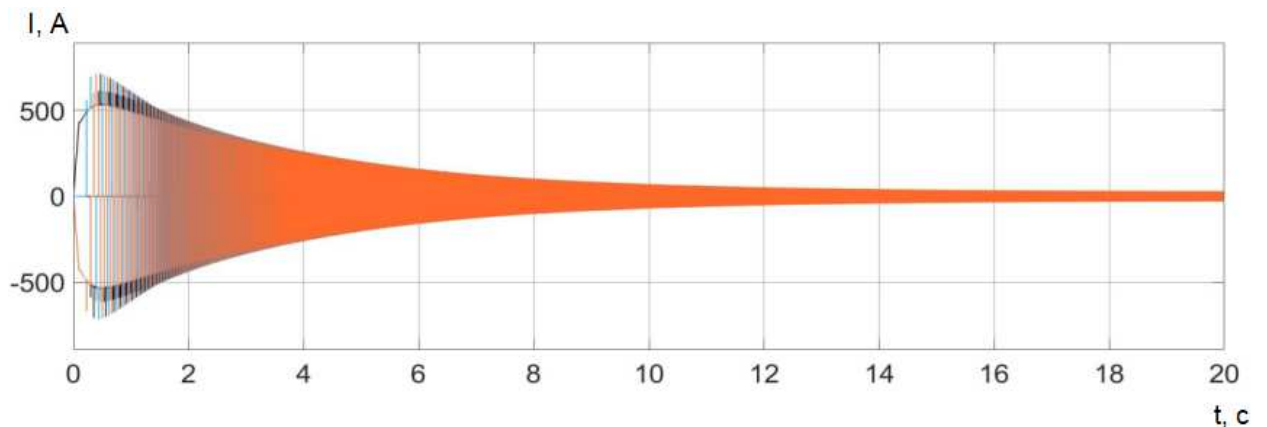


Рисунок 4.8 – Перехідний процес струму двигуна при розгоні від 0 до 100 км/год

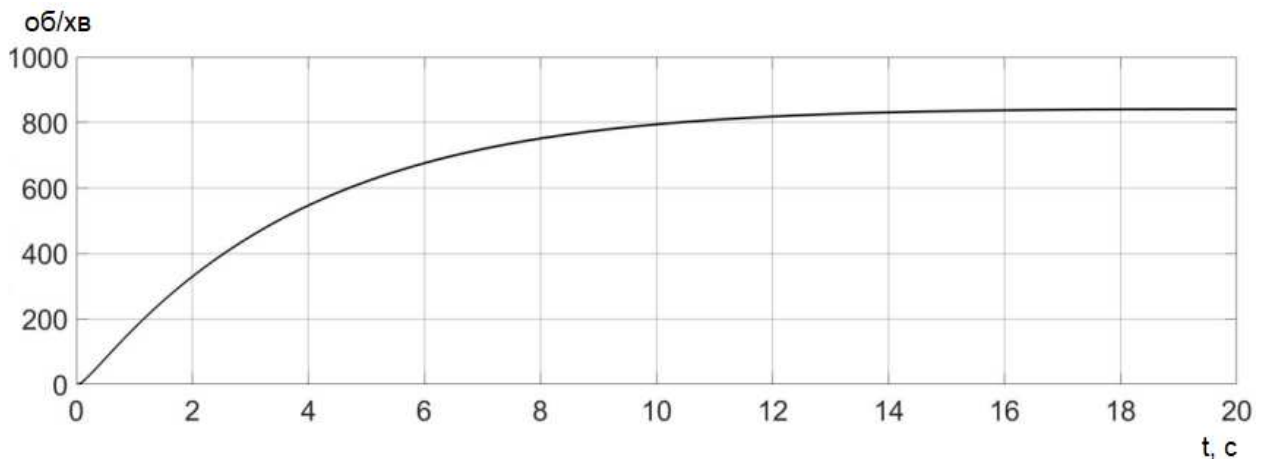


Рисунок 4.9 – Перехідний процес за частотою обертання двигуна при розгоні від 0 до 100 км/год

Аналіз перехідних процесів, представлених на рисунках, дозволяє зробити висновок про працездатність розробленої моделі, оскільки динамічні показники, отримані в процесі моделювання, відповідають результатам тягового розрахунку з достатнім ступенем точності.

Отримані також перехідні процеси лінійної швидкості транспортного засобу, струму двигуна і заряду акумуляторної батареї при зміні поздовжнього профілю дорожнього полотна за наступним алгоритмом: рух горизонтальною ділянкою; підйом у гірку з ухилом 3,4 градуса, що відповідає значенню ухилу 6 %; рух горизонтальною ділянкою; спуск з ухилом -3,4 градуса, що відповідає значенню ухилу -%. Дослідження проводились для моделі, з параметрами акумуляторної комірки ємністю 4560 Вт·год. Перехідні процеси за швидкістю транспортного засобу, струму двигуна та заряду акумуляторної батареї при проходженні розглянутої ділянки представлені на малюнку 4.10.

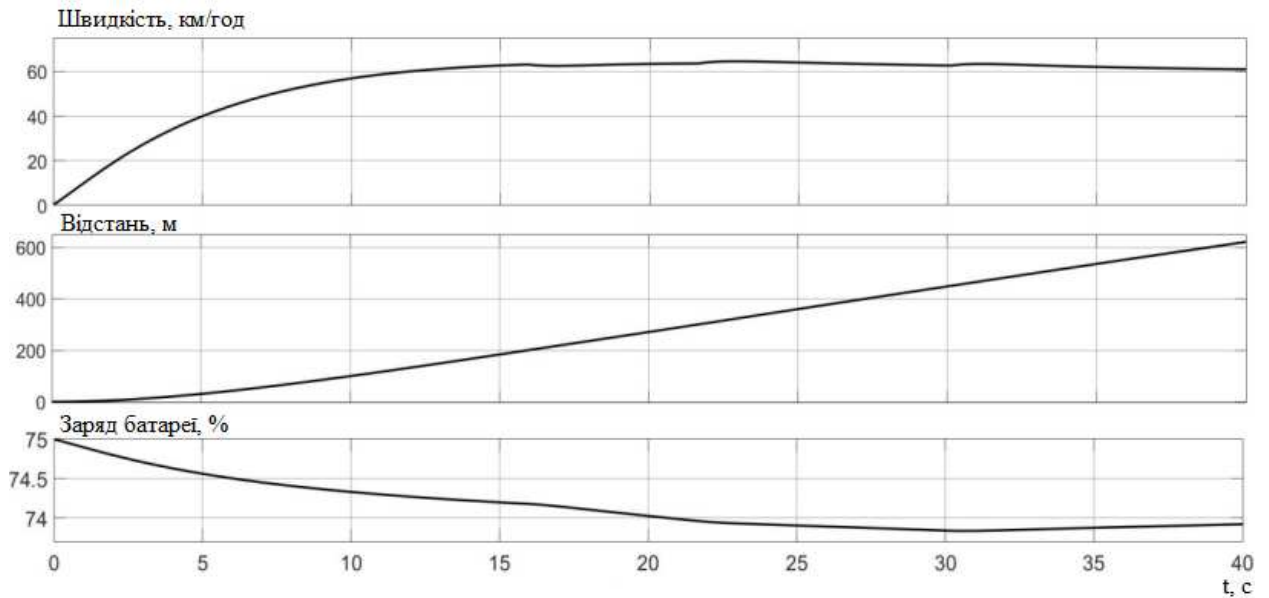


Рисунок 4.10 – Перехідні процеси швидкості транспортного засобу, струму двигуна та заряду акумуляторної батареї

4.3 Моделювання системи стабілізації лінійної швидкості транспортного засобу з використанням алгоритмів нечіткої логіки

Популярність теорії нечітких множин у проектуванні пояснюється тим, що нечіткі системи розробляються швидше, вони виходять простіше і дешевше за чіткі аналоги. Експертні знання легко впровадити у нечіткі системи, що дозволяє швидко створювати прототипи виробів із зрозумілими для людини алгоритмами функціонування. Розроблені за останні десятиліття методи навчання дозволяють налаштувати нечітку систему задля забезпечення необхідних рівнів функціонування, її апаратна реалізація відносно нескладна. У нечіткій логіці для опису фізичних змінних використовуються лінгвістичні значення та вирази, замість імен та чисел, що застосовуються у звичайних розімкнених та замкнутих системах управління. Якщо вхідна змінна описується лінгвістичними термами, вона називається лінгвістичним значенням. Кожен лінгвістичний терм описується нечіткою безліччю M . Тому він математично однозначно визначається базовим безліччю G із двох тверджень та функцією приналежності. Функція приналежності встановлює приналежність кожного елемента предметної

області G у множині M формі числового значення від нуля до одиниці. Якщо функція належності конкретного значення дорівнює одиниці, то лінгвістичне твердження відповідає лінгвістичному терму в усіх відношеннях, якщо вона дорівнює нулю, відповідності немає [20].

Переваги щодо можливості обліку характеристик компонентів системи транспортного засобу в різних режимах його роботи, а також можливість формалізації законів управління для кожного окремого режиму роботи у вигляді набору правил і здатність системи до автоналаштування обумовлюють застосування законів нечіткої логіки в розробці системи управління безрейковим транспортним засобом.

Функціональна схема алгоритму стабілізації лінійної швидкості руху безрейкового транспортного засобу із застосуванням нечіткої логіки приведена на рисунку 4.11.

Імітаційна модель транспортного засобу, система стабілізації лінійної швидкості якого реалізована із застосуванням нечіткої логіки, в MATLAB Simulink приведено на рисунку 4.12.

Система управління з ПД-регулятором, приведена на рисунку 3.5, доповнена задатчиком інтенсивності ЗІ з постійною часу, що налаштовується керованим блоком нечіткої логіки БНЛ. У системі можливі три режими роботи: економічний (ECO), нормальний (NORMAL) та динамічний (FAST). Блок нечіткої логіки БНЛ виконує функцію управління режимами роботи системи стабілізації лінійної швидкості транспортного засобу, впливаючи на постійну часу задатчика інтенсивності та автоматично переводячи всю систему стабілізації лінійної швидкості в економічний режим для збільшення запасу ходу транспортного засобу. Блок нечіткої логіки БНЛ зберігає динамічні характеристики автомобіля, при необхідності автоматично переводячи систему керування транспортного засобу в нормальний або динамічний режим роботи.

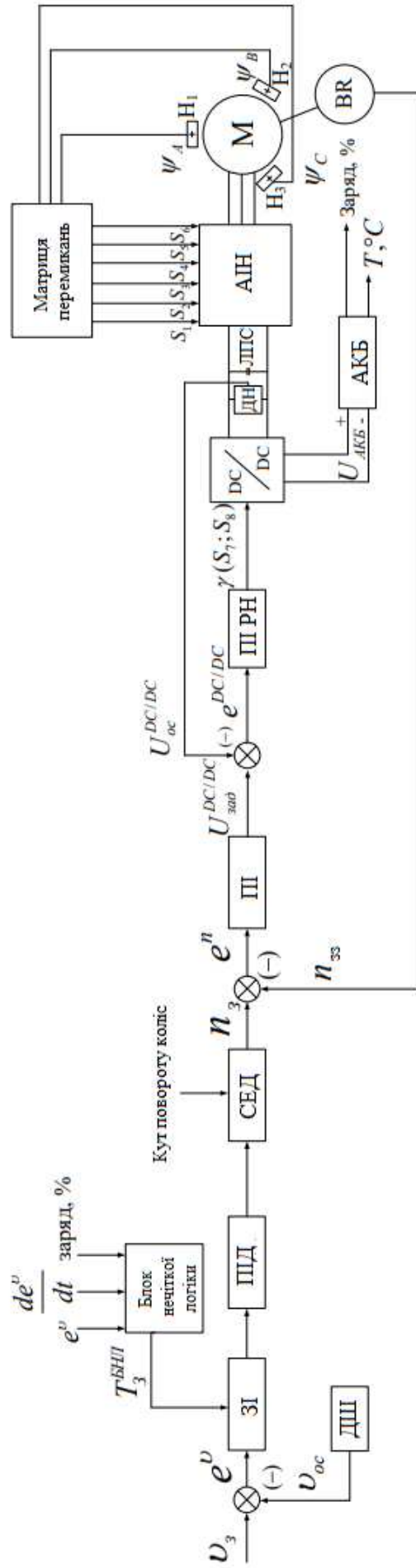


Рисунок 4.11 – Функціональна схема алгоритму стабілізації лінійної швидкості руху транспортного засобу із застосуванням нечіткої логіки

Роботу блоку БНЛ разом із задатчиком інтенсивності ілюструє алгоритм, приведений на рисунку 4.12.

Система працює у режимі підтримки заданої лінійної швидкості руху транспортного засобу. У разі виникнення сигналу помилки, що із зміною сигналу завдання чи лінійної швидкості електромобіля, запускається алгоритм стабілізації лінійної швидкості транспортного засобу із застосуванням блоку нечіткої логіки БНЛ. Залежно від поточних параметрів руху та заряду АКБ визначається режим роботи системи стабілізації лінійної швидкості руху безрейкового транспортного засобу.

Імітаційна модель транспортного засобу, система стабілізації лінійної швидкості якого реалізована із застосуванням нечіткої логіки, у програмному середовищі MATLAB Simulink приведена на рисунку 4.13 [21].

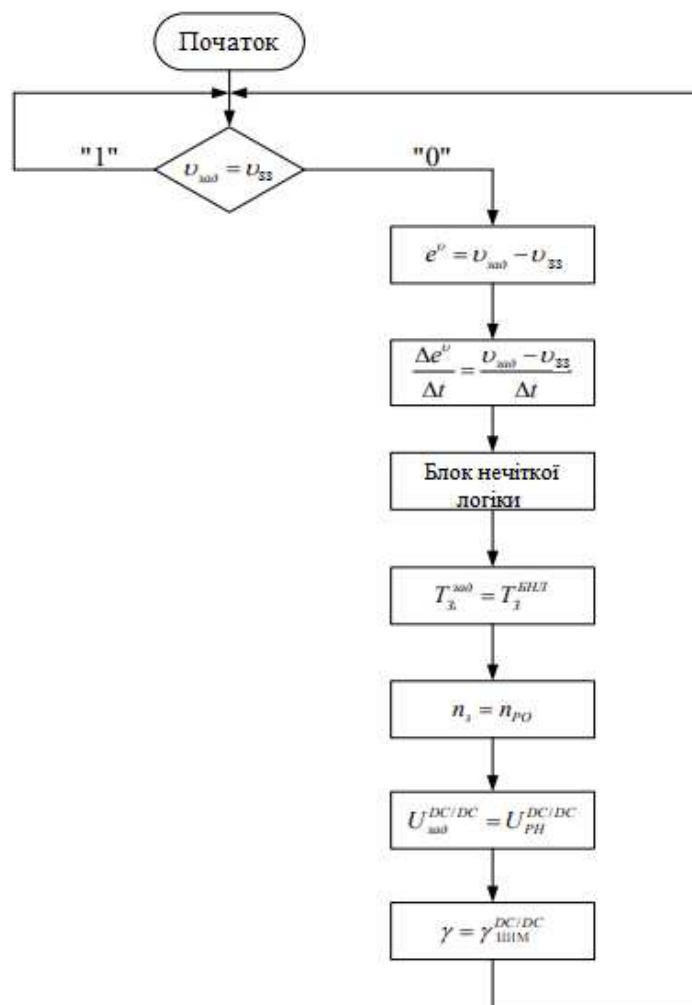


Рисунок 4.12 – Блок-схеми алгоритму функціонування БНЛ

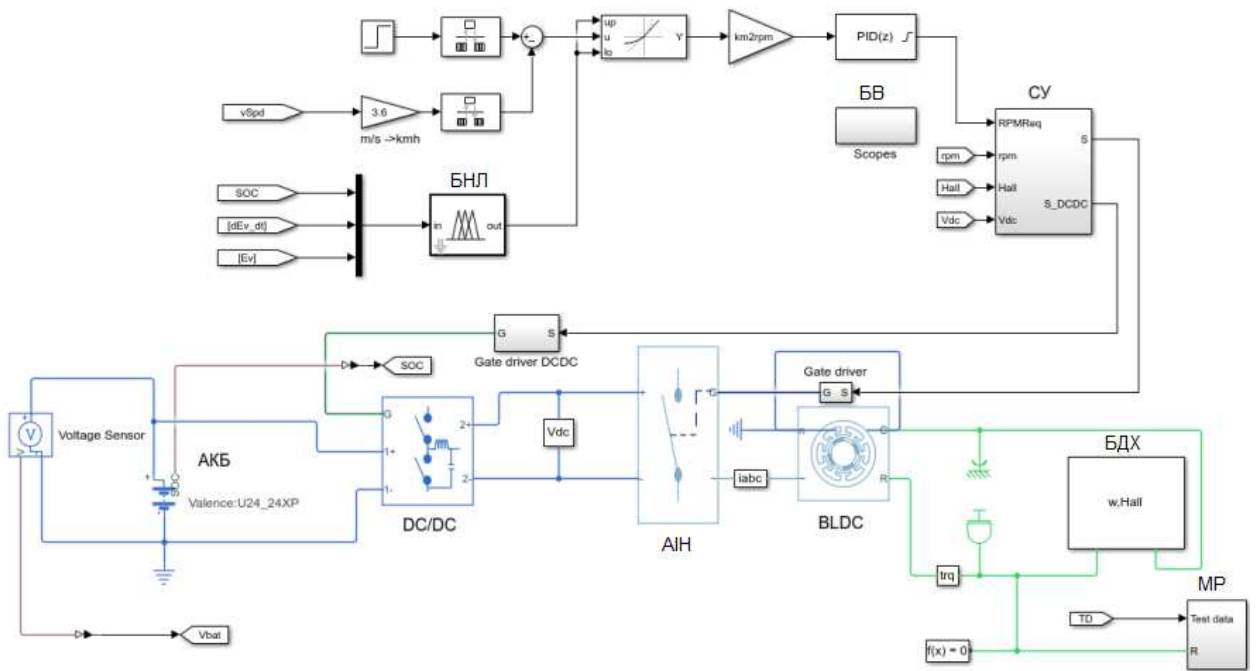


Рисунок 4.13 – Модель транспортного засобу з використанням БНЛ

Правила формуються за принципом *якщо ... і ..., то ...*. Форма функцій приналежності вхідних та вихідних змінних може мати різний вигляд. У цій роботі під час моделювання у програмному середовищі MATLAB Simulink використовувалися трикутні функції приналежності (рисунки 4.14 - 4.17). Налаштування виконували методом ітераційного моделювання у два етапи: грубе налаштування за допомогою редагування правил; тонка настройка за допомогою зміни параметрів функцій приналежності. Критерієм налаштування є мінімізація витрати енергії під час руху транспортного засобу.

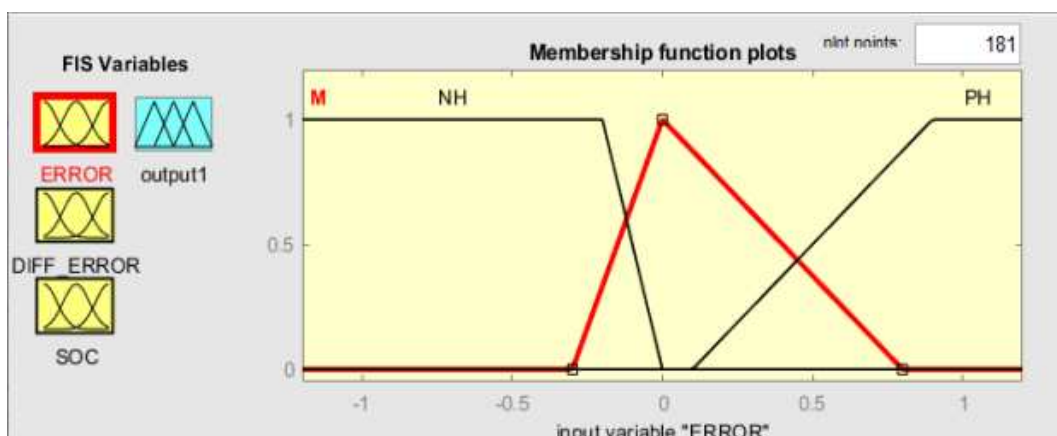


Рисунок 4.14 – Функція належності помилки регулювання

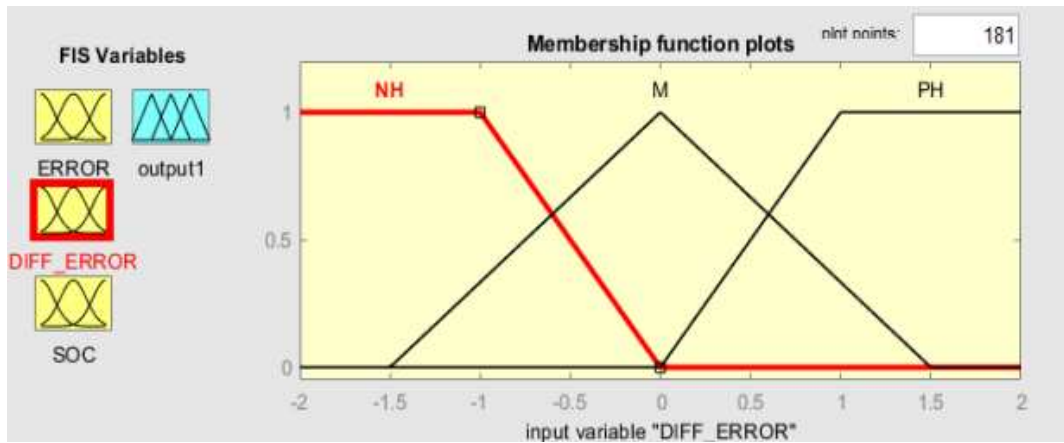


Рисунок 4.15 – Функція належності похідної помилки регулювання

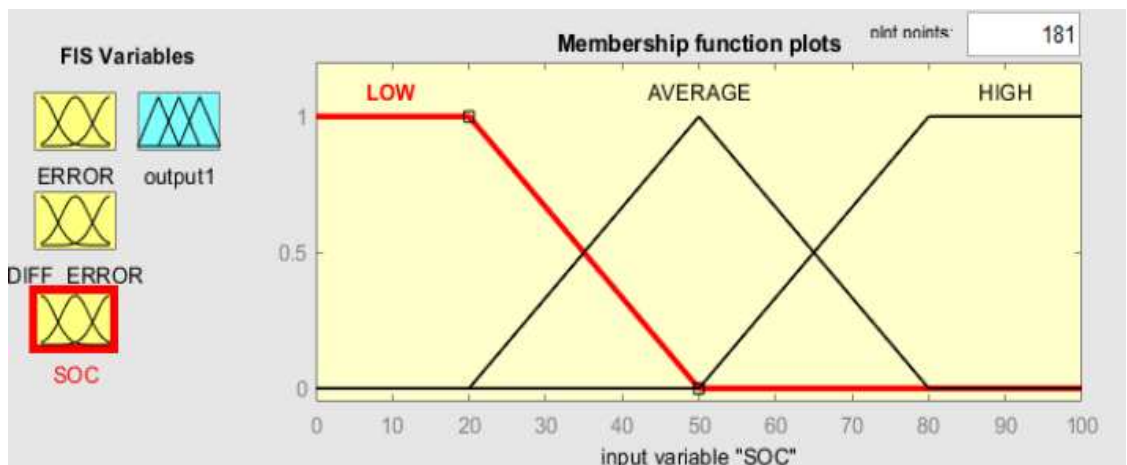


Рисунок 4.16 – Функція належності залишкового заряду АКБ

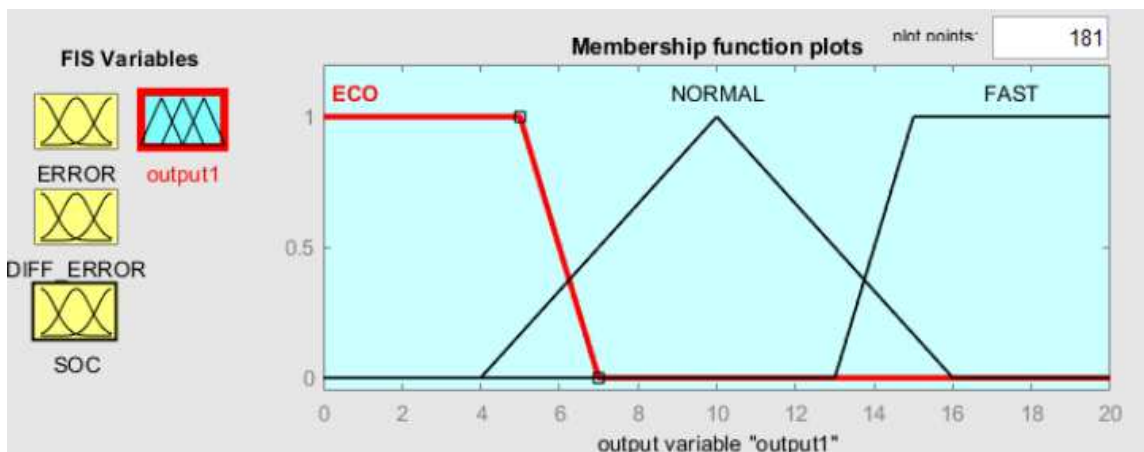


Рисунок 4.17 – Функція належності виходу нечіткого регулятора

Для порівняння з вихідною системою стабілізації лінійної швидкості на базі ПД-регулятора повторимо імітаційне моделювання аналогічно: розгін

від 0 до 100 км/год а також рух за алгоритмом S. Зважаючи на те, що розгін від 0 до 100 км/год є процесом екстреного розгону, вихід нечіткого регулятора перетворюється на «динамічний» режим роботи, в такий спосіб перехідні процеси в цьому випадку повністю повторюють вид перехідних процесів для системи з ПД-регулятором. Для ілюстрації працездатності нечіткого регулятора на рисунку приведено перехідні процеси за швидкістю транспортного засобу, струму двигуна та зарядом акумуляторної батареї при зміні поздовжнього профілю дорожнього полотна за алгоритмом [21].

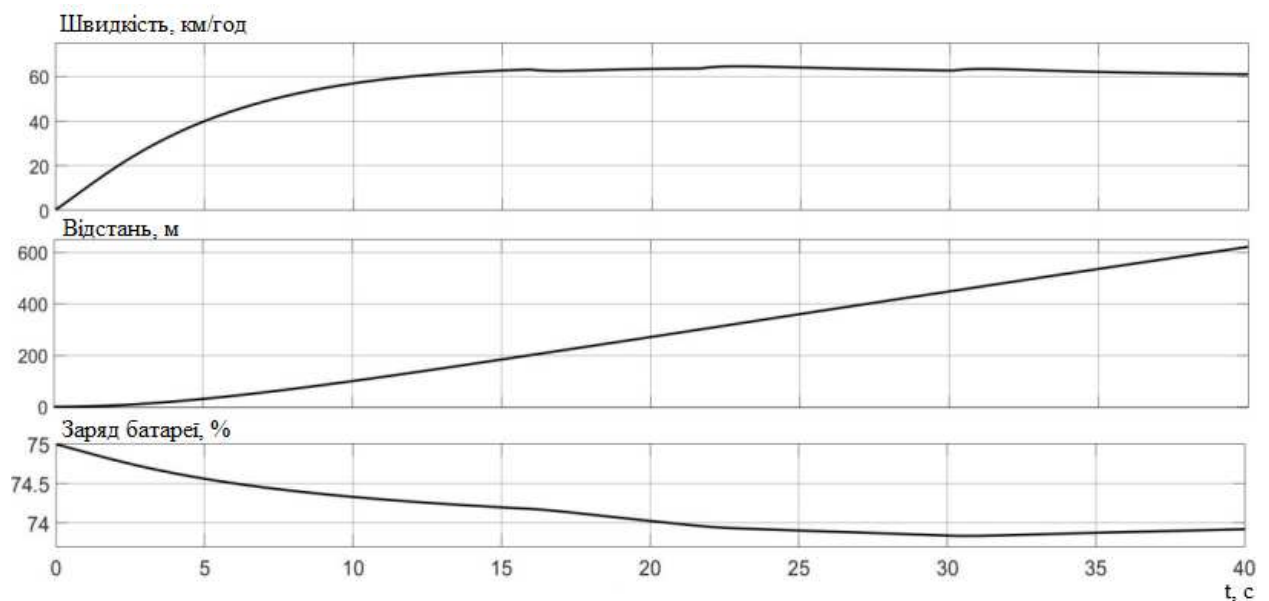


Рисунок 4.18 – Перехідні процеси швидкості транспортного засобу, струму двигуна та заряду акумуляторної батареї з алгоритмом нечіткої логіки

Порівняльний аналіз перехідних процесів, представлених на рисунках 4.10 та 4.18 дозволяє зробити висновок про те, що для системи з нечітким регулятором величина просадки швидкості при накиданні та скиданні навантаження не перевищує 1,54%, у той час як для системи з ПД – регулятором значення таких динамічних помилок складає 1,11%. Незважаючи на погіршення динамічних властивостей застосування нечіткого регулятора дозволяє збільшити показники енергоефективності.

4.4 Висновок

Проведено імітаційне моделювання з метою оцінки енергоефективності розглянутих систем.

Розроблено систему стабілізації лінійної швидкості транспортного засобу на базі нечіткого регулятора, обрано критерій оптимізації. Розроблена система дозволяє з деяким погіршенням динамічних показників роботи машини зменшити енергоспоживання транспортного засобу.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок капітальних вкладень

Замовник залучає власні кошти для реалізації технічного рішення зі створення системи керування електроприводом досліджуваного об'єкту. Він несе витрати на розробку, впровадження та експлуатацію розробки.

В роботі розглянуто найпоширеніші варіанти компоновок тягової системи електричних транспортних засобів, зроблено вибір на користь застосування технології мотор-коліс. Застосування мотор-коліс у тяговій системі повністю виключає такі механічні вузли як зчеплення, редуктор, диференціал та півосі, що зменшує кількість деталей, і підвищує надійність системи. Ще однією перевагою мотор-коліс є економія місця для розміщення додаткового обладнання, збільшення кількості акумуляторних батарей у системі накопичення енергії або збереження простору для пасажирів. Незалежне керування моментом і частотою обертання кожного колеса говорить про те, що мотор-колеса можуть обертатися з різною частотою обертання та в різних напрямках, що значно підвищує динаміку транспортного засобу.

Щодо виконання розрахунків економічної ефективності. Всі витрати, пов'язані з реалізацією проекту називають капітальними вкладеннями. До капітальних вкладень відносять витрати на розробку проекту, придбання обладнання, доставку на підприємство, монтаж і налагодження.

Виходячи з маси вантажу, відстані і тарифу перевезень 1 т вантажу на 1 км, визначають витрати на доставку вантажу. Витрати на монтаж обладнання визначають розрахунковим методом, виходячи з нормативів вартості монтажних робіт. Витрати на налагоджувальні роботи визначають аналогічно. Для загальних розрахунків витрати на доставку, витрати на монтаж обладнання, витрати на налагоджувальні роботи приймають рівними 10% від вартості обладнання.

Одноразові витрати на поновлення оборотних фондів у зв'язку з впровадженням нової техніки включають витрати на придбання необхідної кількості запасів основних матеріалів, запасних частин, комплектуючих виробів та ін. З використанням системи технічного обслуговування і ремонту енергетичного обладнання (ТОР ЕО) визначають необхідний рівень запасів матеріалів.

В таблиці 5.1 приведено розрахунок капітальних вкладень на розробку та впровадження тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-коліс (<https://goldenmotor.ua/bldc-motory/bldc-bezshetochnyj-motor-postojannogo-toka-20kvt-48v-zhidkostnoe-ohlazhdenie>).

Таблиця 5.1 – Капітальні витрати на електроустаткування

Найменування обладнання	Кошторисна вартість, грн.
Електродвигун тяговий GoldenMotor НРМ10-20KW (20 кВт х 4 – в розрахунку на 4 мотор-колеса)	526 668,0
Система керування ПЧ-СДПМ (4-канальна, розподілена): - блоки керування (інтегровані регулятори); - система електронного диференціалу (СЕД); - автономні інвертори напруги (АІН); - DC/DC-перетворювачі; - ланки постійного струму.	442580,0
Кабелі, апарати захисту, доп. пристрої та ін.	34500
Бортова операційна система контролю: - операційна панель; - периферійне обладнання (електронний диференціал, драйвери, сенсори)	26400
Персональний комп'ютер (оренда на етапі проведення пуско-налагоджувальних робіт)	8800
Спеціалізоване програмне забезпечення для програмування та оптимізації режимів ТЕП	12240
Всього	1 024 788,0
Витрати на транспортування (13%)	133 222,4
Монтажні та налагоджувальні роботи (10%)	102 478,8
Всього капітальні вкладення	1 260 489,2

Отже, капітальні витрати $E_k = 1\,260\,489,2$ грн.

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати включають витрати на забезпечення нормального функціонування певного технічного рішення в період його експлуатації в розрахунку на рік .

Експлуатаційні витрати E включають:

1. Амортизаційні відрахування E_a ;
2. Заробітна плата $E_{зп}$ обслуговуючого персоналу (основна, додаткова, нарахування на заробітну плату);
3. Витрати на силову електроенергію E_e ;
4. Витрати на поточний ремонт $E_{пр}$;
5. Інші витрати $E_{ін}$.

Тобто:

$$E = E_a + E_{зп} + E_e + E_{пр} + E_{ін}. \quad (5.1)$$

5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річні амортизаційні відрахування становлять (норма амортизації 10% в рік для механізму підвищеної складності):

$$E_a = 10\% \cdot E_k, \quad (5.2)$$

$$E_a = 0,1 \cdot 1\,260\,489,2 = 126\,049 \text{ (грн)}.$$

5.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Обслуговування електромобіля здійснюватиметься на спеціалізованій станції технічного обслуговування. Згідно ПУЕ обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд не нижче четвертого, група допуску не нижча третьої групи по електробезпеці [23].

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою:

$$E_{зп} = E_{зо} + E_{зд} + E_{зн}. \quad (9.3)$$

де $E_{зо}$ – основна заробітна плата по тарифу;

$E_{зд}$ – додаткова заробітна плата;

$E_{зн}$ – нарахування на заробітну плату.

$$E_{зо} = N \cdot T_1 \cdot K \cdot \Phi_{эф} \cdot K_c \cdot \beta. \quad (9.4)$$

де N – кількість робітників, що обслуговують установку ($N=1$ чол.);

T_1 – погодинна тарифна ставка робітника 1-го розряду ($T_1=22$ грн/год);

K – тарифний коефіцієнт ($K=2,33$) для електрослюсаря V розряду;

$\Phi_{эф}$ – ефективний фонд робочого часу на обслуговування та ремонт електропривода системи електропривода;

K_c – коефіцієнт співвідношення, встановлений Генеральною угодою міжпрофспілками і урядом ($K_c=1$);

β – частка часу, який витрачає робітник на обслуговування установки в загальному часі своєї роботи ($\beta=1$).

Трудомісткість ремонтних робіт визначається згідно графіка планово-попереджувальних ремонтів (таблиця 9.2).

Таблиця 9.2 – Графік ремонтів

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Кількість годин за рік
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Система керування	6						8				8		22
Тягові двигуни		5			5			5				6	21
Кабельна мережа, апарати захисту та керування	4						4					4	12
Бортова операційна система контролю		6				8					8		22
Допоміжні елементи та вузли	4						4					4	12
Загальна трудомісткість, год												89	

В таблиці 5.2 зазначено тривалість міжремонтних періодів та трудомісткість кожного виду ремонту чи обслуговування.

Незначна кількість годин на обслуговування системи пов'язана із тим, що система є новою та сучасною, із використанням мікропроцесорної системи керування, яка має працювати стабільно та надійно і не потребує значного часу на обслуговування.

Слід відзначити, що обслуговування вузлів електропривода електричного автомобіля займає лише частину робочого часу електрослюсаря. Тому, для даного виду робіт розраховуємо основну заробітну плату по тарифу [23]:

$$E_{зо} = 1 \cdot 22 \cdot 2,33 \cdot 89 \cdot 1 \cdot 1 = 4503,4 \text{ (грн)}.$$

Додаткова заробітна плата $E_{зд}$ становить 10% основної заробітної плати:

$$E_{зд} = 0,1 \cdot 4503,4 = 450,3 \text{ (грн)}.$$

Розрахунок нарахувань на заробітну плату зведемо в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок нарахувань на заробітну плату

Показник	Сума
Основна заробітна плата, $E_{зо}$ грн.	4503,4
Додаткова заробітна плата, $E_{зд}$ грн.	450,3
Разом основна і додаткова заробітна плата, $(E_{зо} + E_{зд})$ грн.	4953,7
Єдиний внесок на загальнообов'язкове соціальне страхування (22%), грн.	1089,8
Всього нарахування, грн	6043,5

Таким чином, з (5.3) маємо:

$$E_{зп} = 4503,4 + 450,3 + 1089,8 = 6043,5 \text{ (грн)}.$$

5.2.3 Розрахунок витрат на електроенергію

Варто відзначити, що показник додаткових витрат, що враховують втрати енергії в стаціонарних і перехідних режимах роботи електропривода, є досить відносним, оскільки включає в себе і безпосереднє споживання електроенергії змінного струму із мережі, і використання акумуляторних автомобільних батарей постійного струму.

Витрати на силову електроенергію знаходимо за формулою:

$$E_E = \frac{P}{\eta} \cdot B \cdot T_{\text{еф}} \cdot K_3, \quad (5.5)$$

де B – вартість електроенергії. Ціна на універсальні послуги для непобутових споживачів, електроустановки яких приєднані до електричних мереж згідно з II класом напруги з ПДВ складає приблизно 6,1 грн/кВт·год. (1,68 грн. – вартість закупівлі 1 кВт год для побутового споживача в розрахунку на обсяг споживання понад 250 кВт год за місяць – <https://vin.enera.ua/el/tariff>).;

P – номінальна потужність ($P = 80$ кВт);

η – коефіцієнт корисної дії ($\eta = 0,91$);

K_3 – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю – 0,8);

$T_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу використання електромобіля в рік.

$$T_{\text{еф}} = \varepsilon \cdot Z_{\text{вик.}} \cdot t_{\text{р.в.}}, \quad (5.6)$$

де ε – відносна тривалість ввімкнення ($\varepsilon=0.85$);

$Z_{\text{р.д.}}$ – кількість робочих днів або днів використання автомобіля за рік (приблизно 280 днів/рік);

$t_{\text{р.в.}}$ – тривалість використання автомобіля водієм на протязі доби (в середньому 4 год).

$$T_{\text{еф}} = 0,85 \cdot 280 \cdot 4 = 952 (\text{год} / \text{рік}).$$

Номинальна потужність кожного з чотирьох двигунів складає 20 кВт. Особливістю роботи електропривода автомобіля є використання в процесі експлуатації режиму рекуперації електричної енергії, накопичення її в акумуляторних батареях автомобіля та повторне використання її для потреб тягових режимів руху. Споживання з мережі енергії змінного струму здійснюються лише на етапі заряду батарей для забезпечення режиму тяги. Тому в розрахунок вводимо додатковий коефіцієнт перерахунку, який враховує співвідношення спожитої електричної енергії змінного струму з мережі та безпосередньо запасеної в акумуляторних батареях, рекуперованої та витраченої на тягу енергії. Приймаємо значення даного співвідношення за рік рівним 0,85.

Отже, за формулою (9.5) маємо:

$$E_E = \frac{80}{0,91} \cdot 1,68 \cdot 952 \cdot 0,8 \cdot 0,85 = 95\,610 \text{ (грн.)}$$

5.2.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання

Поточний ремонт системи електроприводу здійснюється на станції технічного обслуговування з його відключенням і зупинкою, силами фахівця установи.

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту приймаємо рівними 30% витрат від основної заробітної плати електрослюсаря IV розряду. Тобто, витрати на матеріали становлять:

$$E_{\text{пр}} = E_{\text{зп}} \cdot 0,3. \quad (5.7)$$

$$E_{\text{пр}} = 6043,5 \cdot 0,30 = 1813 \text{ (грн.)}$$

5.2.5 Інші витрати

Розмір інших витрат приймаємо рівним 5% від загальної суми попередніх витрат. Тобто:

$$E_{\text{ін}} = (E_a + E_{\text{зп}} + E_e + E_{\text{пр}}) \cdot 5\%, \quad (5.7)$$

$$E_{\text{ін}} = (126\,049 + 6043,5 + 95610 + 1813) \cdot 0,05 = 11\,475,8 \text{ (грн.)}$$

Розрахунок загальної суми експлуатаційних витрат за формулою (5.4) наведемо в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Розрахунок сумарних експлуатаційних витрат

Найменування витрат	Сума
Амортизаційні відрахування E_a , грн.	126 049,0
Заробітна плата $E_{\text{зп}}$ обслуговуючого персоналу, грн.	6043,5
Витрати на електроенергію E_e , грн.	95 610,0
Витрати на поточний ремонт $E_{\text{пр}}$, грн.	1813,0
Інші витрати $E_{\text{ін}}$, грн.	11 475,8
Всього експлуатаційні витрати E , грн.	240 991,3

Висновок: В даному розділі було проведено розрахунок капітальних вкладень для розробки та впровадження в роботу електромобіля на основі електропривода змінного струму. Розраховано основну заробітну плату обслуговуючого персоналу, витрати на електроенергію, на планові ремонти та інші витрати. Оскільки можливу вигоду від впровадження даної системи наразі оцінити неможливо, тому термін окупності не розраховується. Відносним економічним показником є в даному випадку експлуатаційні витрати.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У випусковій кваліфікаційній роботі розглядаються заходи з підвищення ефективності тягового електропривода автомобіля с системою багатоканального перетворення напруги. На станції технічного обслуговування автомобілів (СТО), де обслуговується електромобіль, передбачається створення належного температурного режиму, який забезпечує необхідні санітарно-гігієнічні норми праці. Усі металеві неструмовідні частини (корпуса електродвигунів, шаф, світильників, тощо), які можуть опинитися під напругою в наслідок пошкодження ізоляції, заземлюються шляхом приєднання до нульового проводу живлячої мережі.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори згідно ГОСТ 12.0.003-74, які впливають на електромонтерів, що здійснюють діагностику автомобілів та обслуговують діагностичний стенд на СТО:

- фізичні:
- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- рухомі машини і механізми, незахищені рухомі елементи виробничого обладнання;
- підвищена та понижена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- недостатність природного освітлення;
- небезпечний рівень напруги електричного кола, замикання якої може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищена вологість повітря;
- психофізіологічні небезпечних та шкідливих виробничих фактори:
- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово - психічні перевантаження (монотонність праці).

6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

6.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочого місця

Роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці. Це забезпечить не лише безпечність умов праці, а й створить відповідний настрій всередині колективу [24].

Комплексне оснащення робочого місця є необхідною передумовою ефективної організації процесу праці. Однак іншою важливою умовою є раціональне просторове розміщення засобів оснащення на робочому місці так, щоб забезпечити зручність їх обслуговування, вільний доступ до механізмів, економію рухів і пересувань працівника, зручну робочу позу, хороший огляд робочої зони, безпеку праці, економію виробничої площі, зручний взаємозв'язок із суміжними робочими місцями, з підлеглими і керівниками. Забезпечення цих умов досягається в ході планування робочих місць, яке ми коротко визначаємо як найраціональніше просторове розміщення матеріальних елементів виробництва, що складають оснащення робочого місця, та самого працівника.

Схема приміщення необхідного для виконання проектно-конструкторських робіт представлено на рисунку 6.1.

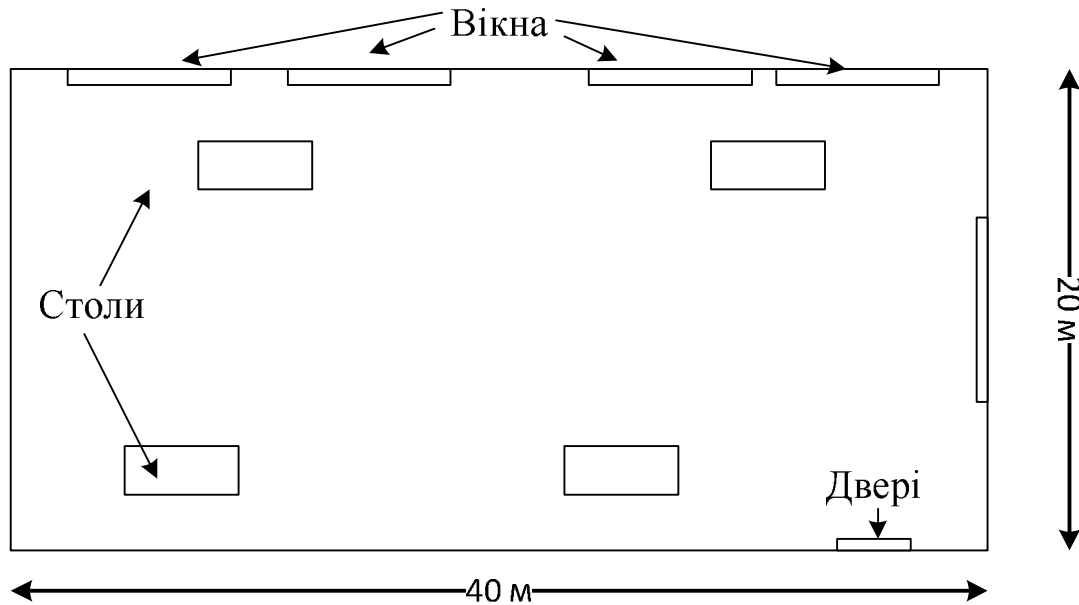


Рисунок 6.1 – Схема приміщення СТО

6.1.2 Електробезпека

Живлення здійснюється від п/ст 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. У приміщенні станції технічного обслуговування гібридних автомобілів використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Категорія умов по небезпеці електротравматизму залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності такого фактору як струмопровідний пил, приміщення можна віднести до категорії підвищеної небезпеки [24].

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

При роботі, яка зв'язана з доторканням до струмоведучих частин електродвигуна або до обертових частин електродвигуна, який приводить в рух механізм, необхідно зупинити електродвигун та на його пусковому

пристрої або ключі керування повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ".

Розшиновку або від'єднання кабеля при підготовці робочого місця може виконати ремонтний робітник, який має третю групу. Під наглядом чергового або оперативно-ремонтного робітника. З найближчих до робочого міста струмоведучих частин до наступних доторканню повинна бути знята напруга або вони повинні бути огорожені. Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами.

В електроустановках до 1000 В при роботах на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин повинна бути знята та шини (за винятком шин, які виконані ізольованим проводом) повинні бути заземлені. Необхідність та можливість встановлення на приєднання цих РУ, щитів, збірок та підключеного до них обладнання визначає працівник, який видає наряд (розпорядження). Перед допуском до роботи на електродвигунах насосів, димососів та вентиляторів, якщо можливо обертання електродвигунів від з'єднаних з ними механізмів, повинні бути закриті та заперті на замок засувки цих механізмів, а також прийняті заходи для гальмування ротора електродвигунів.

Випробування електроприводів разом з виконуючим механізмом потрібно проводити з дозволу начальника зміни технологічного цеху, в якому вони встановлені.

При видачі робиться запис в оперативному журналі технологічного цеху, а отриманні цього дозволу - в оперативному журналі цеху (ділянки), який проводить випробування [24].

6.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні встановлюють оптимальну та допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Таблиця 10.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Іа.

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості Іа	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення нормованих значень руху повітря проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи [24].

6.2.2 Склад повітря робочої зони

Робочою зоною вважається простір, який обмежений огорожуючими конструкціями виробничих приміщень, що мають висоту 2 м над рівнем підлоги або площини, на яких знаходяться місця постійного або непостійного перебування працюючих. Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на нього ряду шкідливих виробничих факторів, утворених в процесі трудової діяльності людини. Склад повітря залишається постійним. Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³.

Таблиця 6.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб.м		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Окис вуглецю		20	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця. Нагромадження пилу глибиною в 1/8" у будь-якій області вказує на необхідність у вживанні заходів по очищенню області. Необхідно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (зернистість), тим вище небезпека.

Тому необхідно здійснювати наступні заходи:

- очищувати металевий пил якнайчастіше.
- щодня протирати гарячі поверхні.
- принаймні, двічі в рік проводити генеральне прибирання всіх областей, включаючи кроквяні ноги, з використанням продувки або пилососа.
- при високих концентраціях обробляти області по частинам.

Низька вологість збільшує потенційну небезпеку, це повинне прийматися в увагу при продувках.

Планувати продувки або прибирання так щоб вони приходилось на час коли устаткування виключене, як, наприклад, у другу половину дня п'ятниці або на вихідні.

6.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення. КЕО при природному та сумісному освітленнях.

Характеристика зорової роботи - роботи середньої точності; розряд - IV; підрозряд зорової роботи – а; контраст об'єкту розпізнавання – малий; характеристика фону – темний.

Бокове КЕО, %: природне 1,5; суміщене 0,9.

Нормовані значення КЕО для приміщень визначаються за формулою:

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (6.1)$$

$$e_N = 1,5 \cdot 0,75 = 1,2\%,$$

де e_H – значення КЕО для будинків;

m – коефіцієнт сонячності клімату - 0,75, вікна зорієнтовані на схід.

Штучне освітлення, лк:

- загальне 75лк;

Для забезпечення нормативного значення e_{in} передбачено:

Штучне освітлення в приміщенні цеху забезпечується світильниками типу РСР08×250 (однолампові) з лампами ДРЛ-250.

6.2.4 Виробничий шум

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки».

Таблиця 6.3 – Рівень звукового тиску.

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі [24].

6.2.5 Виробничі вібрації

У нашому цеху присутня вібрація типу – За. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у табл. 6.4.

Таблиця 6.4 - Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		м·с ⁻²	ДБ	м·с ⁻² ·10 ⁻²	ДБ
За	Z _o , Y _o , X _o	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: зміна конструктивних елементів машин; застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом [24].

6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи тягового електропривода автомобіля с системою багатоканального перетворення напруги в умовах дії загрозливих чинників в надзвичайних ситуаціях

Забезпечення стійкої роботи тягового електропривода автомобіля с системою багатоканального перетворення напруги в умовах надзвичайних ситуацій є одним із головних завдань в процесі проектування. Серед всіх чинників надзвичайних ситуацій, що можуть виникнути і вивести з ладу електропривод діагностичного стенду можна виділити най загрозливіші три: вплив електромагнітного імпульсу, іонізуючих випромінювань і

температурний вплив при пожежі в наслідок короткого замкнення у автомобілі.

Іонізуюче випромінювання – потік заряджених або нейтральних частинок і квантів електромагнітного випромінювання, проходження яких через речовину призводить до іонізації і збудження атомів або молекул середовища. Дія іонізуючого випромінювання на обладнання залежить від виду випромінювання, дози опромінювання та умов оточуючого середовища.

Розрізняють кілька видів іонізуючого випромінювання. Гамма-випромінювання є найнебезпечнішим джерелом енергії, воно проникає у повітрі на відстань сотень метрів. Бета-випромінювання проникає в повітрі на відстань кількох метрів, а в живих тканинах кількох міліметрів. Альфа-частинки мають найкоротший радіус дії (кілька сантиметрів у повітрі, 0,1 мм у тканинах), а тому небезпечні лише у разі безпосереднього контакту з слизовими оболонками. Особливим видом іонізуючого випромінювання є нейтронне випромінювання (n), яке має місце при деяких діленнях урану або плутонію.

Опромінення системи призводить до зміни струму та коефіцієнтів підсилення, також вплине на конденсатори в них понизиться напруга пробою і опір витоку, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність та діелектрична провідність а також тангенс кута витрат.

В результаті дії ЕМІ імпульс струму чи напруги проникає в систему і спричиняє пошкодження, ступінь яких залежить від чутливості складових системи вузлів. Серйозні пошкодження викликає ЕМІ в роботі цифрових і контрольно-вимірювальних приладів.

Дія електромагнітного імпульсу може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та

електронне обладнання автомобіля. Проведемо дослідження стійкості роботи системи електропривода гібридного автомобіля до дії цих двох факторів.

6.3.1 Оцінка безпеки роботи тягового електропривода автомобіля с системою багатоканального перетворення напруги в умовах дії іонізуючих випромінювань

Визначаємо граничні значення дози опромінення, для елементної бази системи при яких виникають незворотні зміни. Відповідно отримані значення заносимо до табл. 6.5 [24]

Таблиця 6.5 – Граничні значення експозиційних доз елементів діагностичної системи

№	Основні блоки	Основні елементи блоку	$D_{гр1}, P$	$D_{гр}, P$
1	Силова схема системи ЕП	Транзистор типу IRGB4059DPBF	10^4	10^4
		Діод типу EM518	10^5	
		Дросель типу РОБС–1АУЗ	10^4	
		Конденсатор типу К50–35	10^4	
2	Система керування	МК Texas Instrument TMS320F28	10^4	

Визначаємо можливу дозу опромінення:

$$D_M = \frac{2 \cdot P_1 \cdot (\sqrt{t_K} - \sqrt{t_{II}})}{K_{осл}},$$

де P_1 –максимальне значення рівня радіації ($P_1 = 4,72 P/\text{год}$);

t_K –час кінця опромінення ($t_K = 48384 \text{ год}$);

t_{II} –часа початку опромінення($t_{II} = 1 \text{ год}$);

$K_{осл}$ –коефіцієнт послаблення радіації ($K_{осл} = 1$)

$$D_M = \frac{2 \cdot 4,72 \cdot (\sqrt{48384} - \sqrt{1})}{1} = 2067,01(P).$$

Відповідно, $D_{\phi} > D_M (10^4 > 2067,01)$, то дана діагностична система стійка до дії радіації, тому визначимо допустимий час роботи в умовах заданих за формулою:

$$t_d = \left(\frac{D_{гр} \cdot K_{осл} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1} \right),$$

$$t_d = \left(\frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 4,72 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,72} \right) = 1,0632 \cdot 10^3 (\text{год}).$$

Отже, дана доза опромінення елементної бази $D_M = 2067,01 \text{ Р}$, а допустима -10^4 , тому діагностична система електричного обладнання транспортних засобів є стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання. При чому допустимий час роботи системи в заданих умовах дорівнює $1,0632 \cdot 10^3 \text{ год}$, при рівні радіації $4,72 \text{ Р/год}$.

6.4 Оцінка стійкості роботи діагностичної системи електричного обладнання транспортних засобів в умовах дії електромагнітного імпульсу

Визначимо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_r = 9,2 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 9,2 (\text{В/м}).$$

Визначимо горизонтальну та вертикальну напругу наводки:

$$U_r = 9,2 \cdot 10^3 \cdot 0,5 = 4600 (\text{В}).$$

$$U_v = 9,2 \cdot 0,5 = 4,6 (\text{В}).$$

Визначимо допустимі коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_d = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N,$$

де N – відсоток допуску

$$U_d = 5 + \frac{5}{100} \cdot 5 = 5,25 (\text{В}),$$

$$U_{\text{д}} = 12 + \frac{5}{100} \cdot 5 = 12,6(\text{В}),$$

$$U_{\text{д}} = 80 + \frac{75}{100} \cdot 5 = 84(\text{В}).$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кожної ділянки діагностичної системи електричного обладнання транспортних засобів:

Горизонтальної:

$$Кб_{\text{г1}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_{\text{д1}}}{U_{\text{г}}}\right),$$

$$Кб_{\text{г1}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{5,25}{4600}\right) = -58,9(\text{дБ}),$$

$$Кб_{\text{г2}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_{\text{д2}}}{U_{\text{г}}}\right),$$

$$Кб_{\text{г2}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{12,6}{4600}\right) = -51,9(\text{дБ}),$$

$$Кб_{\text{г3}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_{\text{д3}}}{U_{\text{г}}}\right),$$

$$Кб_{\text{г3}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{84}{4600}\right) = -34,8(\text{дБ}).$$

Вертикальної:

$$Кб_{\text{в1}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_{\text{д1}}}{U_{\text{в}}}\right),$$

$$Кб_{\text{в1}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{5,25}{4,6}\right) = 1,1(\text{дБ}),$$

$$Кб_{\text{в2}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_{\text{д2}}}{U_{\text{в}}}\right),$$

$$Кб_{\text{в2}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{12,6}{4,6}\right) = 8,8(\text{дБ}),$$

$$Кб_{\text{в3}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_{\text{д3}}}{U_{\text{в}}}\right),$$

$$Кб_{\text{в3}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{84}{4,6}\right) = 25,2(\text{дБ}).$$

Отримані дані заносимо в таблицю 6.6

Таблиця 6.6 – Значення коефіцієнтів безпеки діагностичної системи

№	Найменування	$Kb_{гр}, (дБ)$	$Kb_{в}, (дБ)$	Результат
1	Блок живлення, 5 В	-58,9	1,1	Нестійкий
2	Блок живлення, 12 В	-51,9	8,8	Нестійкий
3	Силові елементи, 80В	-34,8	25,2	Нестійкий

Границя стійкості системи керування $Kb_{\min} = -58.9(дБ)$, а $Kb_{гр} = 38,8(дБ)$, отже система є нестійкою в умовах дії електромагнітного випромінювання.

Перехідне гасіння енергії електричного поля екраном для сталі:

$$A = 40 - Kb_{гр}$$

Блок живлення: $A = 40 + 58,9 = 98,9(дБ)$;

Блок управління: $A = 40 + 51,9 = 91,9(дБ)$;

Блок силовий: $A = 40 + 34,8 = 74,8(дБ)$.

Розрахуємо товщини захисних екранів:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}$$

Де f – найбільш характерна частота ($f = 15кГц$).

Блок живлення 5В:

$$t = \frac{98,9}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,16(см),$$

Блок живлення 12В:

$$t = \frac{91,2}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,14(см),$$

Блок силовий:

$$t = \frac{74,8}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,12(см).$$

Отже, при екрануванні блоків живлення з використання екрану товщиною **0,16 см** зі сталі, вони будуть стійкими в умовах впливу електромагнітного імпульсу. При екрануванні екраном товщиною 0,12 см, силової частини вона також буде стійка в умовах впливу електромагнітного імпульсу.

Висновок:

В результаті застосування екранів тяговий електропривод автомобіля с системою багатоканального перетворення напруги буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 9,2 кВ/м, одним із варіантів подальшого підвищенням стійкості роботи апаратури до дії електромагнітного імпульсу є зменшення струмопровідних провідників, шляхом вдосконалення схемо устаткування. Однак для цього потрібно екранувати кабелі живлення, а також застосувати прилади, які б вимикали радіотехнічні схеми на період впливу радіації.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи на тему «Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-коліс» були запропоновані рішення щодо підвищення енергетичної ефективності функціонування електропривода та отримані такі результати:

1. Запропоновано рекомендації щодо вибору варіанта компоновання тягової системи транспортного засобу для підвищення його енергоефективності.

2. Здійснено розрахунок та вибір типу тягового двигуна для транспортного засобу – безколекторного двигуна постійного струму, попередньо оцінено потужність обраного двигуна. Вибір обумовлений високим коефіцієнтом питомої потужності, низькою інерційністю ротора, високим крутним моментом на низьких частотах обертання, високим коефіцієнтом корисної дії за рахунок відсутності обмоток у роторі, а також можливістю роботи в широкому швидкісному діапазоні, у тому числі в режимі ослабленого поля.

3. Запропоновано функціональну схему тягової системи транспортного засобу на базі чотирьох мотор-коліс. Розроблено систему електронного диференціала для варіанта компоновання з чотирма мотор-колесами на базі безколекторних двигунів постійного струму.

4. Проведено імітаційне моделювання з метою оцінки енергоефективності розглянутих систем. Розроблено схему системи стабілізації лінійної швидкості транспортного засобу для безколекторних двигунів постійного струму із застосуванням алгоритму нечіткої логіки з оптимізацією енергоспоживання під час руху.

5. Виконано техніко-економічний розрахунок величини витрат запропонованого варіанту системи електропривода. Визначено, що за рахунок впровадження запропонованих рішень досягається економія річних

експлуатаційних витрат. Це підтверджує правильність виконаних досліджень та економічну доцільність впровадження даного технічного рішення.

6. Визначено основні положення щодо безпечної експлуатації досліджуваного електротехнічного комплексу в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Балковой А.П. Прецизионный электропривод с вентильными двигателями / А.П. Балковой, В.К. Цаценкин. – М.: Изд. дом МЭИ, 2010. – 328 с.
2. Бармухов С.В., Карунин Ю.В., Круташов А.В. Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками: Учебное пособие. – Москва: МГТУ «МАМИ», 2007. – 72 с.
3. Богданов К.Л. Тяговый элетропривод автомобиля : Учебное пособие. – Москва: МАДИ, 2009. – 57с.
4. Тімков О.М. Історія створення та перспективи розвитку гібридних автомобілів/ О.М. Тімков// Автошляховик України. Вісник центрального наукового центру транспортної академії України. — 2010. — №13. — С. 69–71.
5. Блум Х. Схемотехника и применение мощных импульсных устройств : пер. с англ. / Х. Блум. – М. : Додэка-XXI, 2008. – 352 с.
6. Богданов К.Л. Тяговый электропривод автомобиля / К.Л. Богданов. – М. : МАДИ, 2009. – 56 с.
7. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / А.Т. Бурков. – М.: Транспорт, 1999. – 464 с.
8. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / А.Б. Виноградов. – Иваново : Изд-во Иванов. гос. энерг. ин-та им. В.И. Ленина, 2008. – 298 с.
9. Теория и расчет тягового привода электромобилей : учеб. пособие для вузов по специальности «Городской электрический транспорт» и «Электрическая тяга и автоматизация тяговых устройств» / И.С. Ефремов, А.П. Пролыгин, Ю.М. Андреев, А.Б. Миндлин. – М.: Высшая школа, 1984. – 383 с.

10. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин : учебник для вузов / И.П. Копылов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 2001. – 327 с.
11. Новаковски Р. Вопросы проектирования высокочастотных DC/DC-преобразователей с высоким входным напряжением / Р. Новаковски, Б. Кинг // Силовая электроника. – 2012. – № 5. – С. 137-140.
12. Сидоров К.М. Перспективные системы тягового электрооборудования для транспортных средств / К.М. Сидоров, Т.В. Голубчик, В.Е. Ютт // Вестник МАДИ. – 2012. – № 1. – 56-63.
13. Скворцов, В.А. Тенденции в развитии транспортных средств с использованием электрического привода / В.А. Скворцов, А.А. Берестов // Силовая электроника. – 2004. – № 1. – С. 85-87.
14. Черных, И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 288 с.
15. Markel T. Energy storage system considerations for grid-charged hybrid electric vehicles [Электронный ресурс] / Т. Markel, А. Simpson. - Режим доступа: <http://www.nrel.gov/docs/fy05osti/38538.pdf>
16. Burke A. Review of ultracapacitor technologies for vehicle Applications [Электронный ресурс] / А. Burke. - Режим доступа: http://www.nesscAppcom/data_nesscap/papers/2001/Review%20of%20Ultracapacitor%20Technologies%20for%20Vehicle%20APPLICATION.pdf.
17. Espanet C. In-wheel motor for a small hybrid electric vehicle: design, realization and experimental characterization / С. Espanet // IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). - 2012. - P. 892 - 898.
18. Jain M. Suitability analysis of in-wheel motor direct drives for electric and hybrid electric vehicles / М. Jain, S. S. Williamson // IEEE Electrical Power Energy Conference (EPEC). - 2009. - P. 1 - 5.

19. Fei Xu. Characteristics analysis of multiple in-wheel-induction-motors drive system / Fei Xu, Liming Shi // 2011 IEEE International Conference on Industrial Technology. - 2011. - P. 121 - 126.

20. Miyamasu M. Efficiency comparison between Brushless dc motor and Brushless AC motor considering driving method and machine design /M. Miyamasu, K. Akatsu // IECON 2011 - 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. - 2011. - P. 1830-1835.

21. Чорний О.П., Луговой А.В., Д.Й. Родькін, Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. Моделювання електромеханічних систем. – Кременчук, 2001. – 376 с.

22. Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2022)», Вінниця, 2022. [Електронний ресурс]. URL: – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 3 с.

23. Демов О. Д., Бірюков О. О., Мельничук Л. М., Демов А. Д., Бірюков А. А., Мельничук Л. М., Demov O. D., Biryukov A. A., Melnychuk L. M.. Розрахунок собівартості електроенергії на промисловому підприємстві. Демов О. Д. Розрахунок собівартості електроенергії на промисловому підприємстві [Текст] : навчальний посібник / О. Д. Демов, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук. – Вінниця : ВНТУ, 2008. – 92 с.

24. Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу охорона праці в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей. – Вінниця 2003. –46 с.управления моментом синхронного двигателя с постоянными магнитами. Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 4.

Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. зав. кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.

 Микола МОШНОРИЗ

«20» вересня 2022 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ НА БАЗІ МОТОР- КОЛІС

08-16.МКР.004.00.000 ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., доц.

 Олександр ПАЯНОК

«20» вересня 2022 р.

Виконав: ст. гр. 1ЕМ-186

 Володимир МИКИТЧЕНКО

«20» _____ 2022 р.

Вінниця ВНТУ 2022

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки «Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-коліс».

Скорочене найменування розробки – «Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-коліс».

Замовник – Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем дипломного проектування.

3 Призначення розробки і галузь використання

Електричні безрейкові транспортні засоби є однією з технологій, що найбільш швидко розвиваються. Їх застосування може стати вирішенням проблеми ефективного використання енергії та зниження шкоди навколишньому середовищу, що наноситься двигунами внутрішнього згорання. На сьогоднішній день конструювання електромобілів вийшло значно новий рівень, проте щодо висока вартість і обмеженість запасу автономного ходу залишаються головними проблемами. Збільшення автономного ходу електричних транспортних засобів, зараз, досягається різними способами.

4 Вимоги до розробки

Показники транспортного засобу повинні відповідати наступним критеріям:

1. забезпечення необхідного прискорення;

2. здатність до подолання спусків та підйомів: нахил, який транспортний засіб може подолати з певною швидкістю;

3. максимальна швидкість, яку може розвинути транспортний засіб за постійної потужності.

4. Максимальний запас ходу на одному заряді акумуляторної батареї.

5 Технічні характеристики

Таблиця 2.2 – Характеристики двигуна GoldenMotor НРМ10-20KW

Назва параметру	Значення
Напруга	48 В
Номінальна потужність	20 кВт
Номінальний момент	100 Нм
Пікове значення моменту	200 Нм
Частота обертання	0-4500 об/хв
Матеріал корпусу	алюміній
ККД	91%
Маса	17 кг

6 Комплектація розробки

Живлення всієї системи здійснюється від блоку акумуляторної батареї АКБ, для узгодження рівня напруги ланки постійного струму ЛПС та АКБ застосовується DC-DC перетворювач. Блок АКБ включає збірку акумуляторів та систему управління. Система стабілізації швидкості включає три контури регулювання. Зовнішній контур регулювання – контур стабілізації лінійної швидкості транспортного засобу з урахуванням ПД – регулятора. В якості сигналу завдання приймається сигнал, що формується водієм, що надходить з акселератора. Сигнал зворотного зв'язку – це сигнал із датчика лінійної швидкості транспортного засобу. Наступним, підпорядкованим йому контуром, є контур стабілізації кутової частоти обертання двигуна – колеса (або контур регулювання обертів). В якості

сигналу завдання приймається сигнал з виходу системи електронного диференціала СЕД, а сигнал зворотного зв'язку – це сигнал з датчика кутової частоти обертання – ВР.

7 Джерела розробки

1. Балковой А.П. Прецизионный электропривод с вентильными двигателями / А.П. Балковой, В.К. Цаценкин. – М.: Изд. дом МЭИ, 2010. – 328 с.
2. Бармухов С.В., Карунин Ю.В., Круташов А.В. Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками: Учебное пособие. – Москва: МГТУ «МАМИ», 2007. – 72 с.
3. Богданов К.Л. Тяговый элетропривод автомобиля : Учебное пособие. – Москва: МАДИ, 2009. – 57с.
4. Тімков О.М. Історія створення та перспективи розвитку гібридних автомобілів/ О.М. Тімков// Автошляховик України. Вісник центрального наукового центру транспортної академії України. — 2010. — №13. — С. 69–71.
5. Allen E.Fuhs. Hybrid vehicles and the future of personal transportation / Allen E.Fuhs. — CRC Press, 2008. — 504 p.

8 Етапи виконання

Основна частина	
Графічна частина	

9 Конструктивне виконання

Складові установки виготовляються окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пиловологозахищеному виконанні.

10 Технічне обслуговування та ремонт

До оперативного обслуговування електроустановками допускаються працівники, які знають їхні схеми, інструкції з експлуатації, особливості конструкції та роботи обладнання і пройшли навчання та перевірку знань.

11 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЯГОВОГО
ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ НА БАЗІ
МОТОР-КОЛІС**

Об'єкт, предмет, мета та задачі дослідження

Об'єктом дослідження є система тягового електроприводу безрейкового транспортного засобу з акумуляторним джерелом живлення.

Предметом дослідження є математичні моделі та структури, алгоритми керування тяговим електроприводом, які дозволяють підвищити економічну ефективність електропривода транспортного засобу на базі мотор-коліс.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності підвищення енергетичної ефективності системи тягового електроприводу транспортного засобу на базі мотор-коліс за рахунок раціонального вибору компонентування тягової системи та використання сучасних алгоритмів керування.

В процесі реалізації мети роботи необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати варіанти компонентування тягової системи безрейкового транспортного засобу підвищення її енергоефективності;
- розробити систему електронного диференціала для варіанта компонентування з чотирма мотор-колесами на базі безколекторних двигунів постійного струму;
- розробити функціональну схему тягової системи транспортного засобу на базі чотирьох мотор-коліс;
- виконати імітаційне моделювання динамічних режимів роботи з метою оцінки енергоефективності та адекватності запропонованих схемних рішень, синтезувати систему стабілізації лінійної швидкості транспортного засобу для безколекторних двигунів постійного струму із застосуванням алгоритмів нечіткої логіки.
- виконати техніко-економічний розрахунок величини витрат запропонованого варіанту системи електропривода та обґрунтувати економічну доцільність запровадження технічних рішень;
- визначити основні положення щодо безпечної експлуатації досліджуваного електротехнічного комплексу в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища. -

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОМПОНОВКИ СИСТЕМИ ТЕП

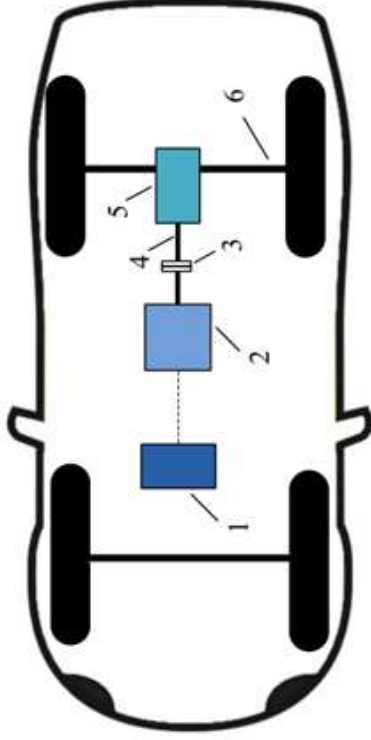


Рисунок 1.1 – Тягова система електричного ТЗ з централізованим приводом

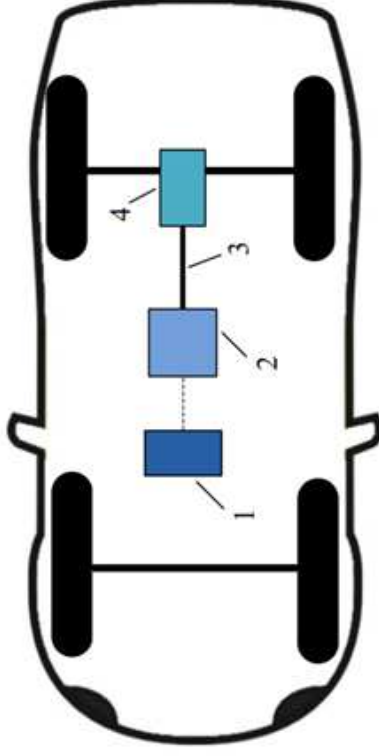


Рисунок 1.2 – Тягова система електричного ТЗ з централізованим приводом без зчеплення

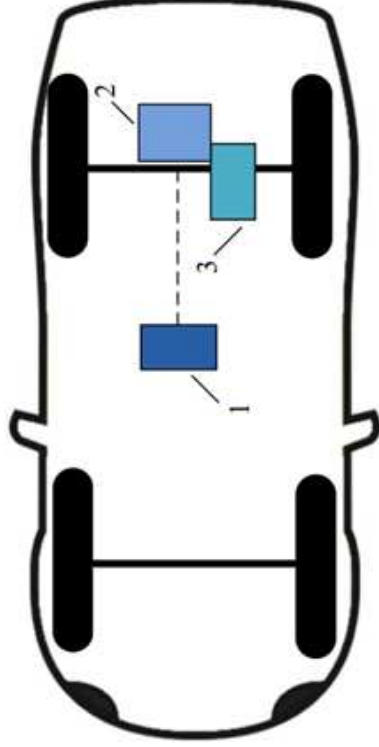


Рисунок 1.3 – Тягова система електричного ТЗ з осьовим диференціалом

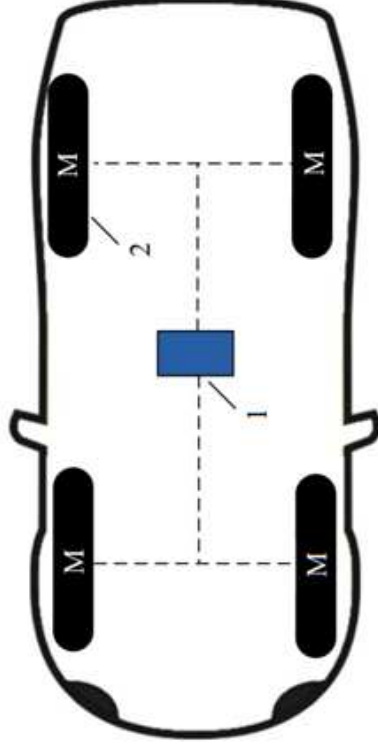


Рисунок 1.4 – Тягова система електричного ТЗ на базі мотор-колiс

На рисунках прийняті такі позначення: 1 – система накопичення енергії; 2 – електричний двигун; 3 – зчеплення; 4 – редуктор; 5 – диференціал.

Вимоги та критерії побудови ТЗ з тяговим електроприводом

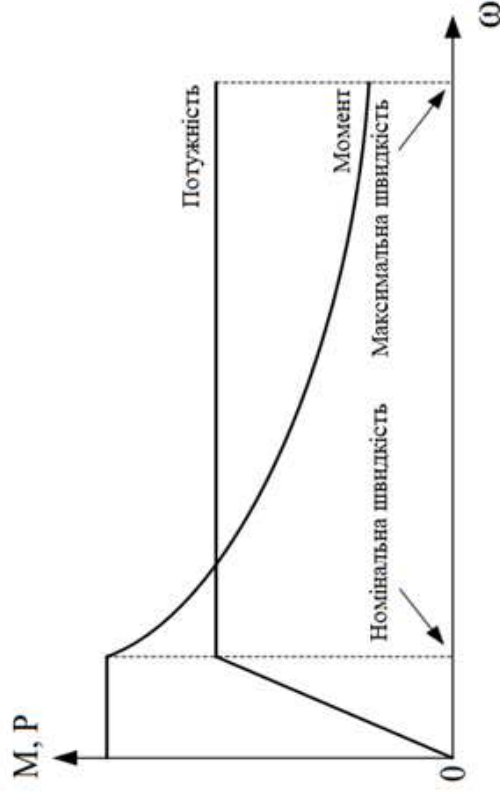


Рисунок 1.5 – Вихідні характеристики тягового двигуна

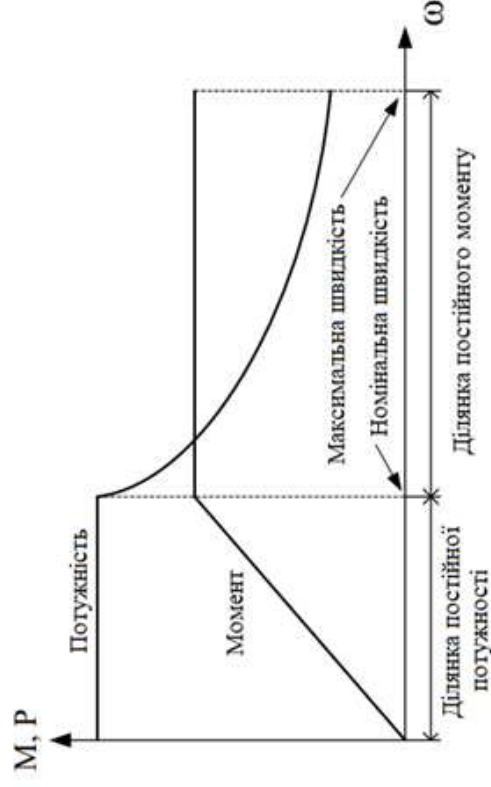


Рисунок 1.6 – Характеристика крутного моменту та швидкості ТД

В складі двигун-коліс можуть застосовуватися електричні двигуни, характеристики яких відповідають наступним вимогам:

1. високий крутний момент на низьких швидкостях;
2. широкий діапазон регулювання швидкості;
3. Високий коефіцієнт питомої потужності.

Електричні двигуни, які відповідають усім вищезазначеним вимогам:

1. асинхронний електродвигун;
2. синхронний двигун із постійними магнітами;
3. безщітковий двигун постійного струму;
4. вентильний реактивний електродвигун.

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВОЇ СИСТЕМИ

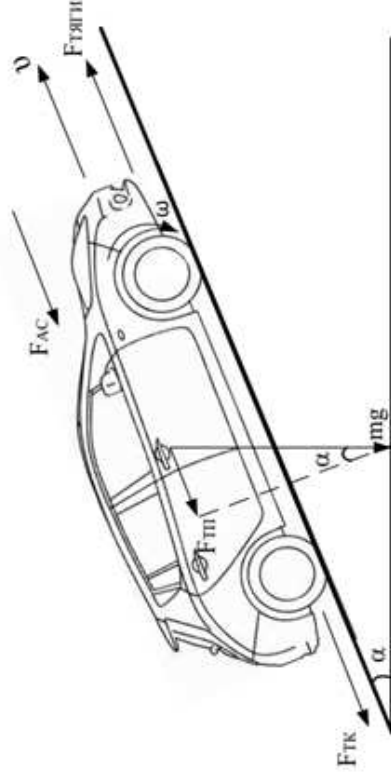


Рисунок 2.1 – Сили, що діють на транспортний засіб під час руху по похилій поверхні

$$\Sigma F = m \cdot a,$$

$$F_{\text{тяги}} = F_{\text{тк}} + F_{\text{ао}} + F_{\text{ш}} + m \frac{dv}{dt}$$

$$F_{\text{тяги}} = \mu_{\text{тк}} \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha + \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot C_d \cdot v^2 + m \cdot g \cdot \sin\alpha + m \frac{dv}{dt}$$

$$M_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{к}}}{\eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{лг}} \cdot i_{\text{кп}} \cdot i_{\text{ш}}}$$

$$P_{\text{роз.}} = \frac{M_{\text{тр}} \cdot n}{9,55} \quad P_{\text{дв}} \geq P_{\text{роз.}}$$

Таблиця 2.2 – Характеристики двигуна GoldenMotor НРМ10-20KW

Назва параметру	Значення
Напруга	48 В
Номінальна потужність	20 кВт
Номінальний момент	100 Нм
Пікове значення моменту	200 Нм
Частота обертання	0-4500 об/хв
Матеріал корпусу	алюміній
ККД	91%
Маса	17 кг

Таблиця 2.1 – Результати тягового розрахунку транспортного засобу

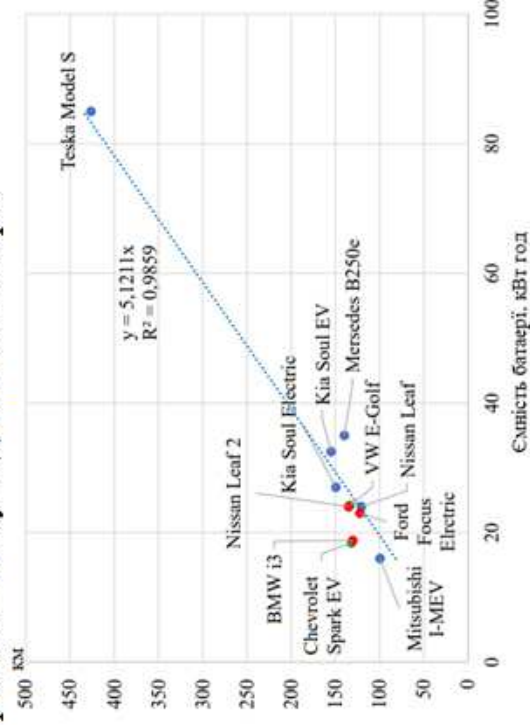
Назва параметру	Значення
Сила тяги на провідних колесах, $F_{\text{тяги}}$	2291,1 Н
Момент опору, що діє на колеса автомобіля, $M_{\text{к}}$	733,15 Н·м
Необхідний момент на валу електродвигуна, $M_{\text{роз.}}$	183,15 Н·м
Частота обертання двигуна, n	827,03 об/хв
Необхідна потужність електродвигуна, $P_{\text{роз.}}$	14071,1 Вт

ВИБІР ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ТЕП

Таблиця 2.3 – Порівняння джерел струму для ТД

Параметр/ Тип джерела	Свинцево-кислотні	Нікель-кадмієві	Нікель-метал-гідридні	Літій-іонні	Супер-конденсатор
Номинальна напруга, В	2	1,2	1,2	3,7	2,7
Питова енергоємність, Вт год/кг	30-40	40-60	30-80	90-140	5
Питома потужність, Вт/кг	180	150	250-1000	1800	10000
Середній час заряду, год	>10	8	6	2	0,006
Кількість циклів заряду/розряду, шт.	500-800	2000	800	2000	1000000
Середній саморозряд за міс., %	4	20	30	7	15

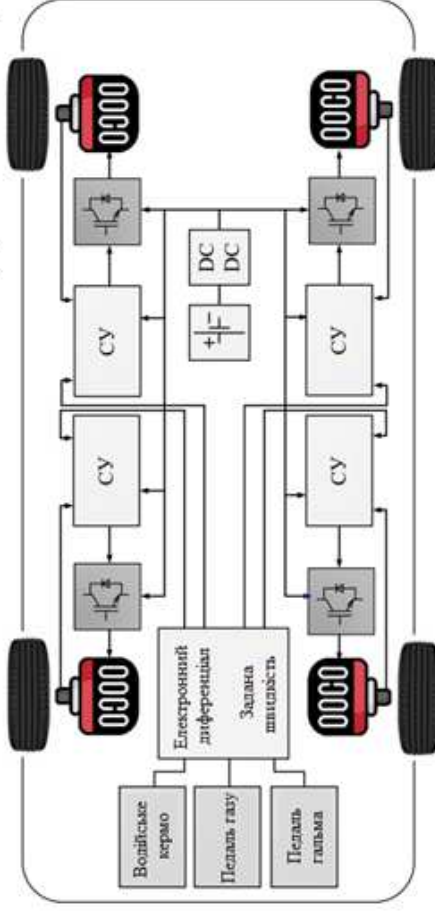
Рисунок 2.2 – Залежність запасу ходу транспортного засобу від ємності батареї



На підставі кількісного та якісного порівняння різних типів тягових джерел струму вибір на користь літій-іонних акумуляторних батарей обумовлений такими показниками:

- високі показники питомих характеристик;
- високі значення допустимих зарядних/розрядних струмів;
- здатність швидко заряджатися;
- велика кількість циклів розряд-заряд;
- низька швидкість саморозряду;
- відсутність ефекту пам'яті.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ШВИДКОСТІ. ЕЛЕКТРОННИЙ ДИФЕРЕНЦІАЛ



Значення лінійних швидкостей коліс vR та vL , користуючись співвідношеннями, одержаними вище:

$$v_R = \omega \cdot R_R = \frac{v \cdot tg\delta}{L} \cdot \left[\frac{L}{tg\delta} + \frac{d}{2} \right] = v \cdot \left[1 + \frac{d \cdot tg\delta}{2L} \right]$$

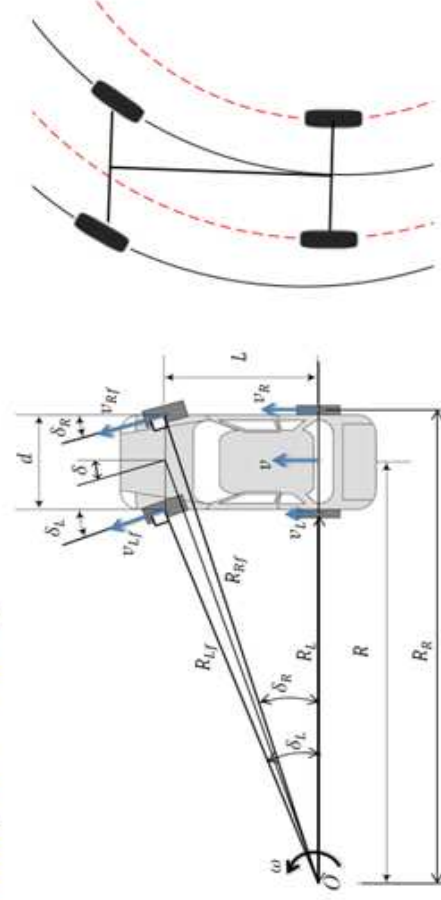
$$v_L = \omega \cdot R_L = \frac{v \cdot tg\delta}{L} \cdot \left[\frac{L}{tg\delta} - \frac{d}{2} \right] = v \cdot \left[1 - \frac{d \cdot tg\delta}{2L} \right]$$

$$v_{Rf} = \frac{v \cdot tg\delta}{\sin \left[\arcsctg \left[ctg\delta + \frac{d}{2L} \right] \right]}$$

$$v_{Lf} = \frac{v \cdot tg\delta}{\sin \left[\arcsctg \left[ctg\delta - \frac{d}{2L} \right] \right]}$$

Рисунок 3.1 – Функціональна схема тягової системи транспортного засобу на базі чотирьох мотор-колів

Математична модель електронного диференціалу транспортного засобу



Рівняння показують залежність лінійних швидкостей коліс в функції заданої швидкості v і кута повороту керма δ .

РОЗРОБКА СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ШВИДКОСТІ

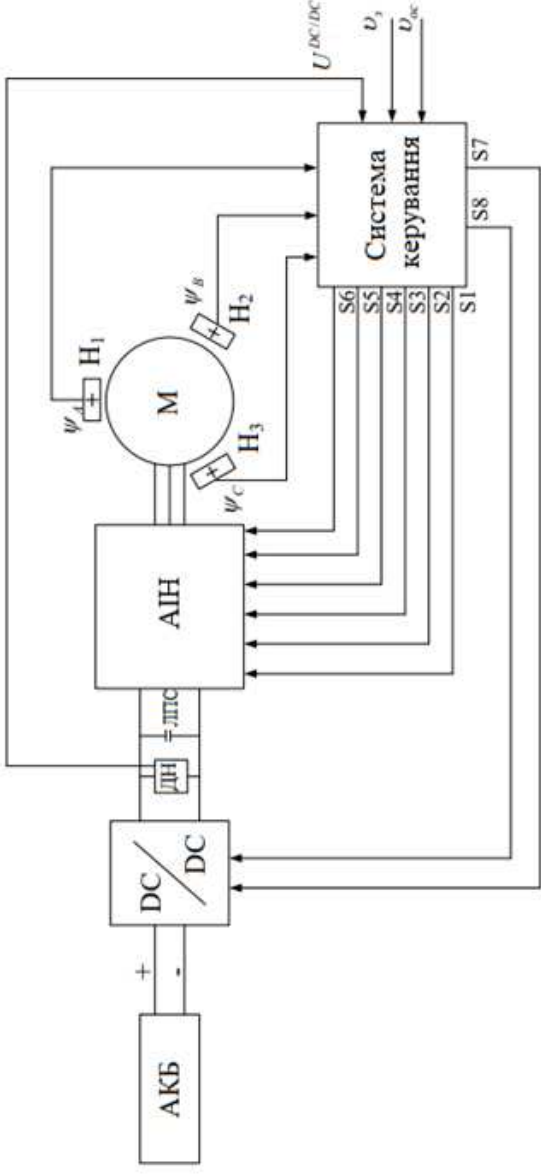


Рисунок 3.2 – Спрощена функціональна схема системи стабілізації лінійної швидкості руху ТЗ

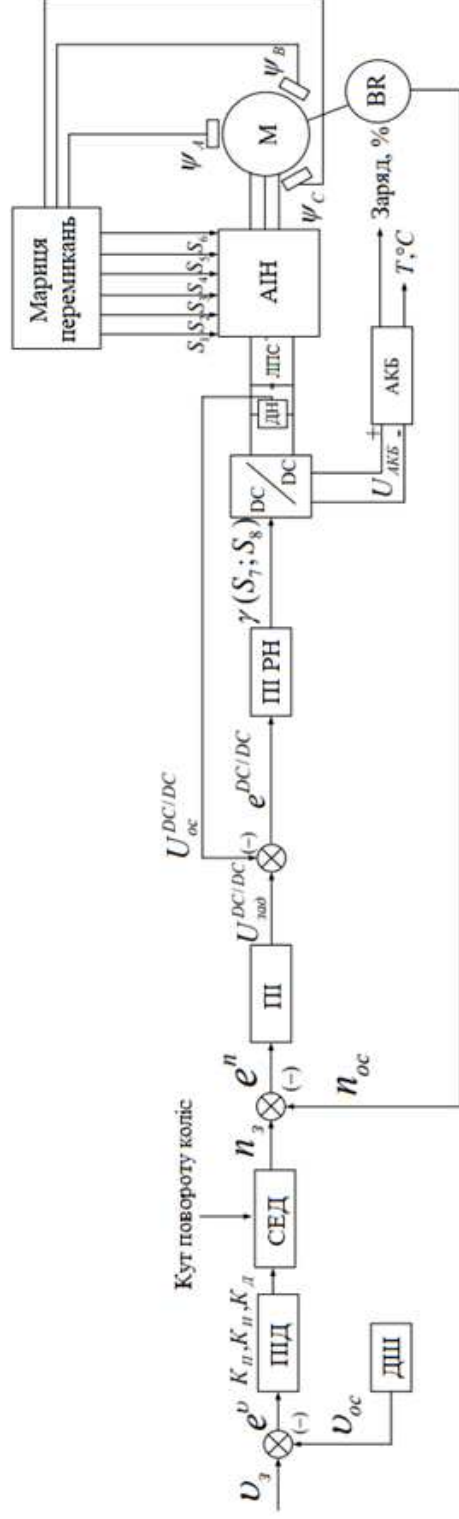


Рисунок 3.3 – Функціональна схема алгоритму стабілізації лінійної швидкості руху ТЗ

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО ДИФЕРЕНЦІАЛУ

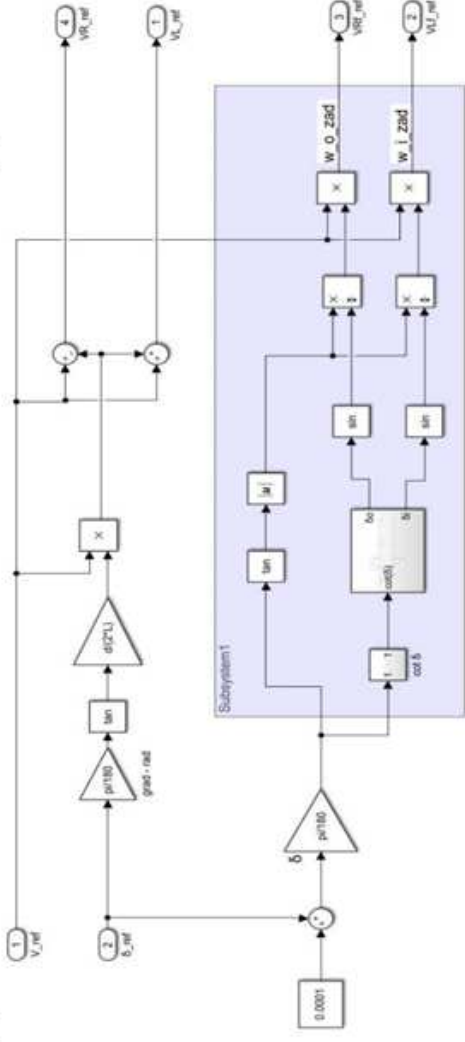


Рисунок 4.1 – Модель електронного диференціалу на базі чотирьох мотор-колів

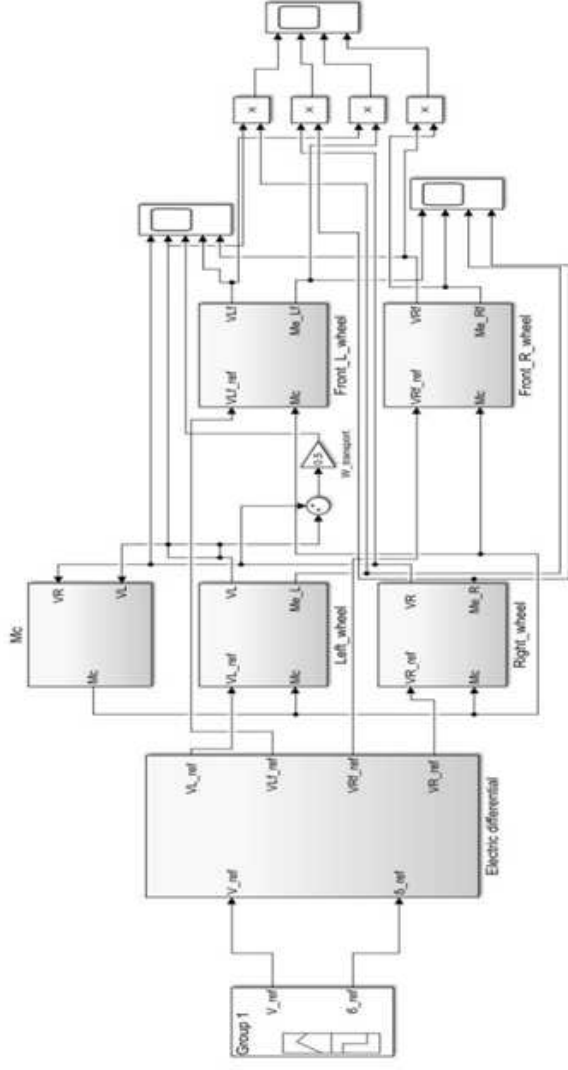


Рисунок 4.2 – Імітаційна модель системи електронного диференціалу повнопривідного ТЗ

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО ДИФЕРЕНЦІАЛУ

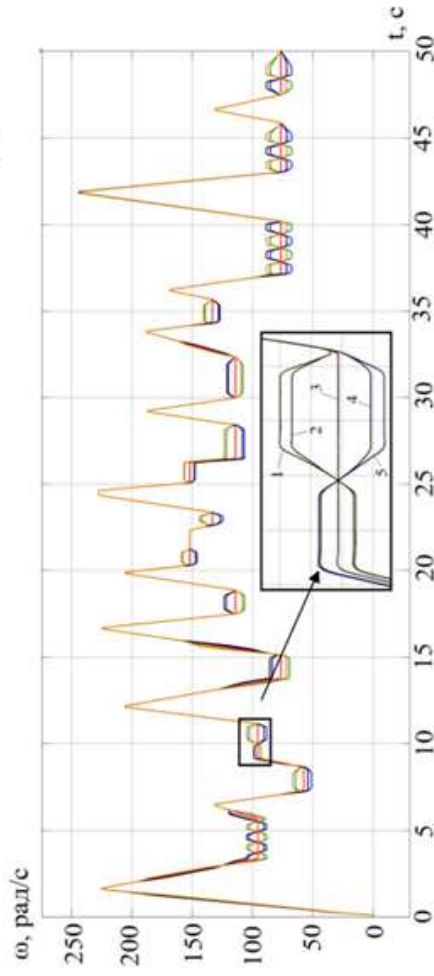


Рисунок 4.3 – Перехідний процес за частотою обертання валу двигуна (1 – ліве переднє колесо; 2 – ліве заднє колесо; 3 – середня швидкість автомобіля; 4 – праве заднє колесо; 5 – праве переднє колесо)

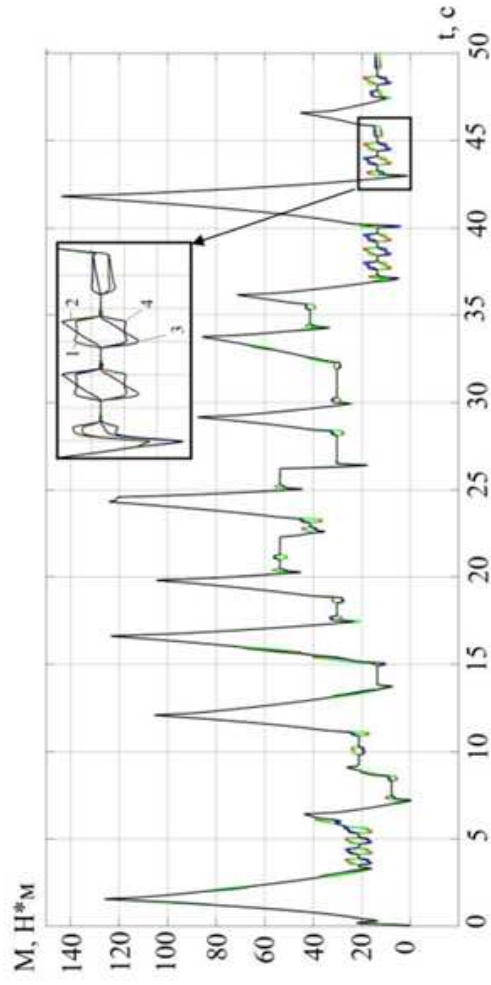


Рисунок 4.4 – Перехідний процес по моменту на валу двигуна

(1 – праве заднє колесо; 2 – ліве переднє колесо; 3 – ліве заднє колесо; 4 – праве переднє колесо)

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЛІНІЙНОЇ ШВИДКОСТІ ТЗ

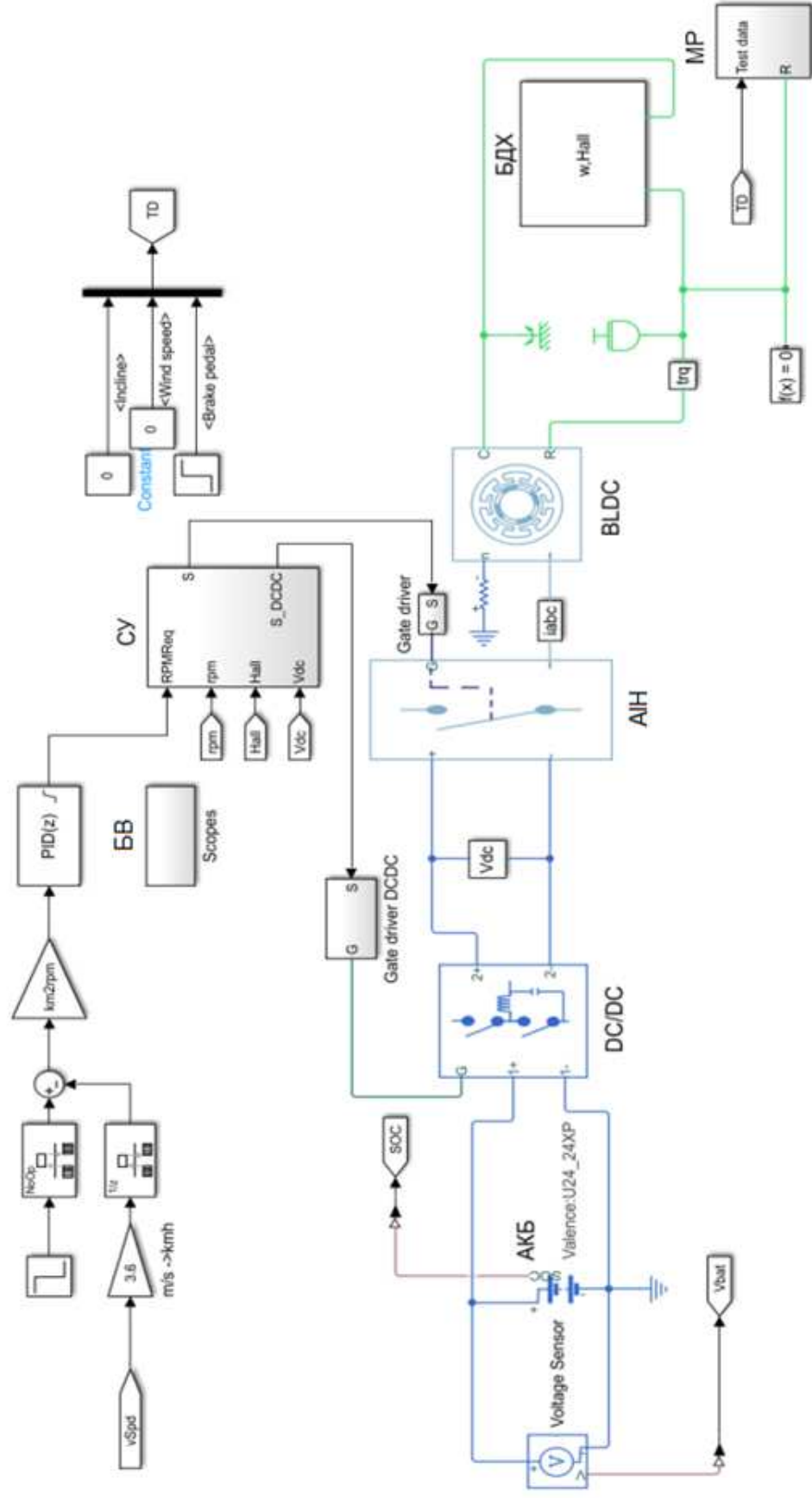


Рисунок 4.7 – Модель транспортного засобу, системи стабілізації лінійної швидкості на базі ПІД – регулятора

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЛІНІЙНОЇ ШВИДКОСТІ ТЗ

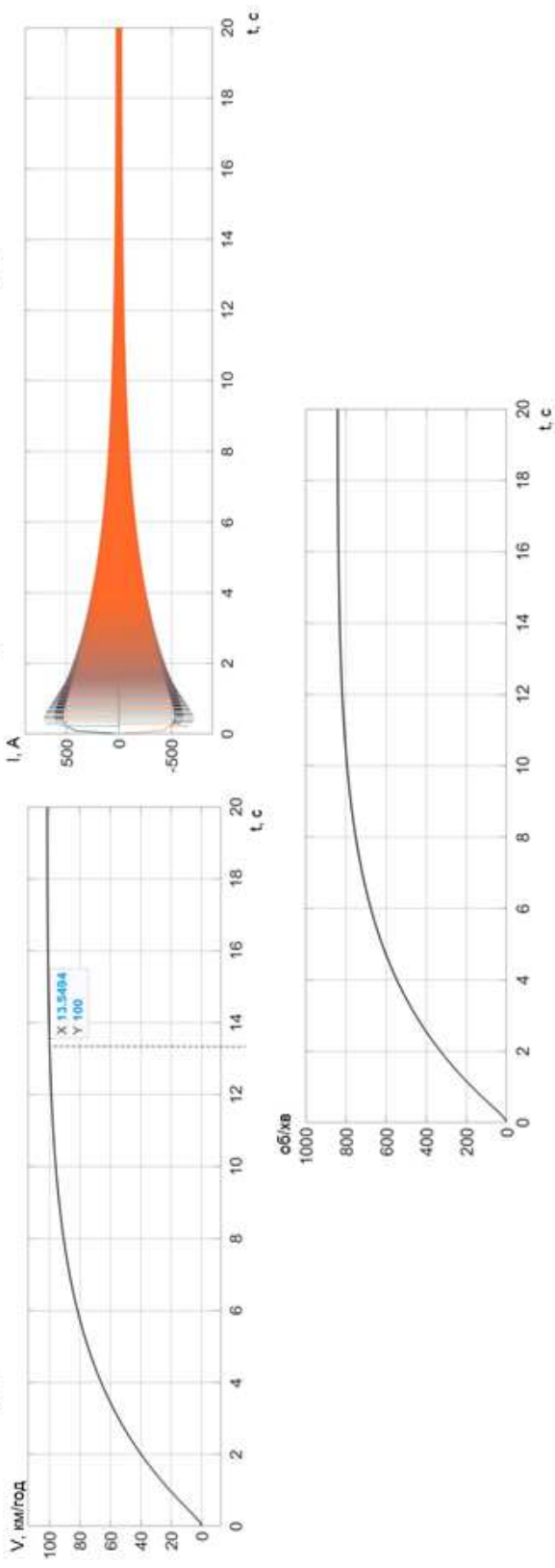


Рисунок 4.9 – Перехідні процеси за лінійною швидкістю, струмом та частотою обертання

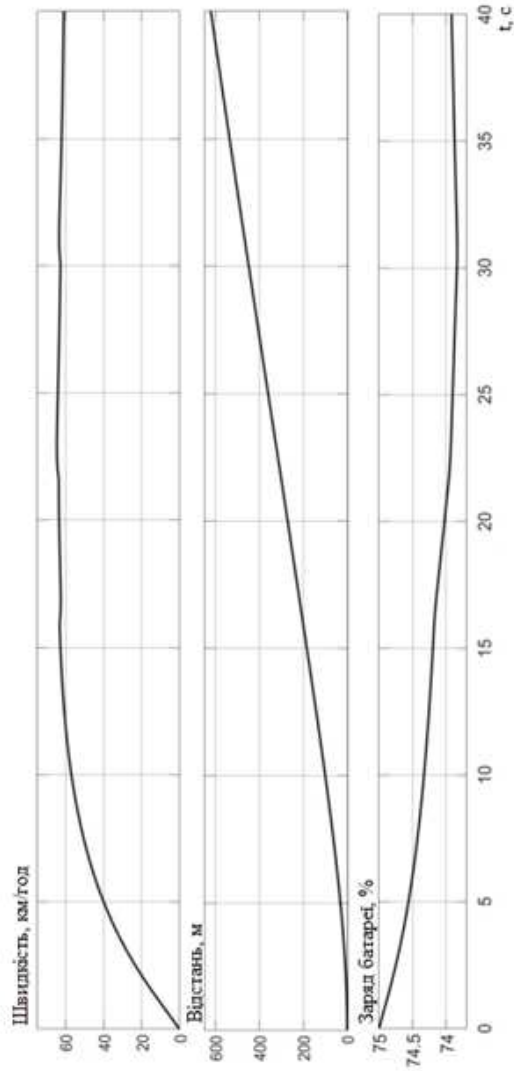


Рисунок 4.10 – Перехідні процеси швидкості транспортного засобу, струму двигуна та заряду акумуляторної батареї

ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

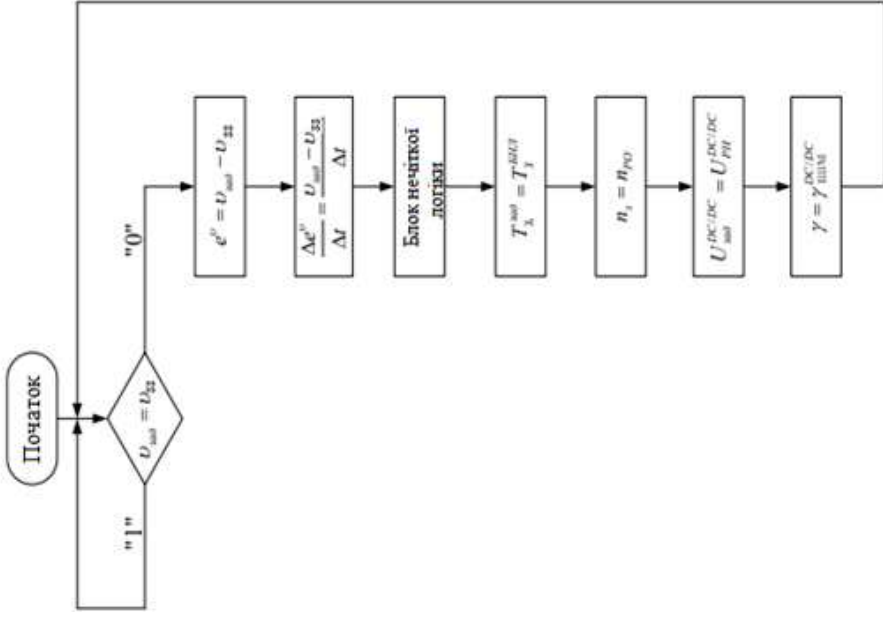


Рисунок 5.3 – Блок-схеми алгоритму функціонування БНЛ

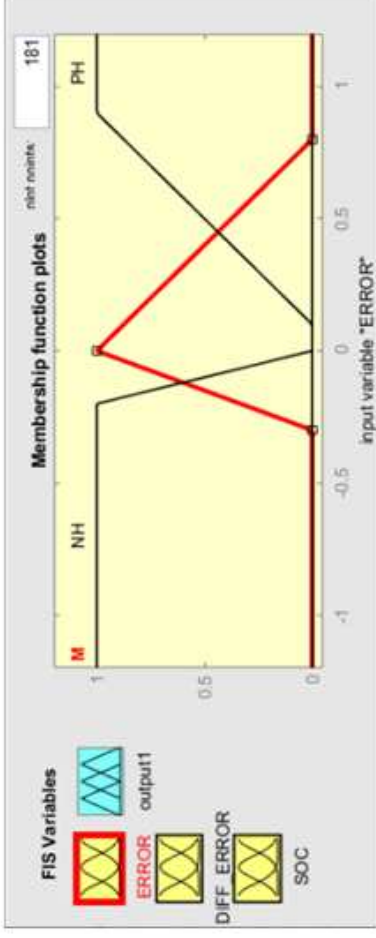


Рисунок 5.3 – Функція належності помилки регулювання

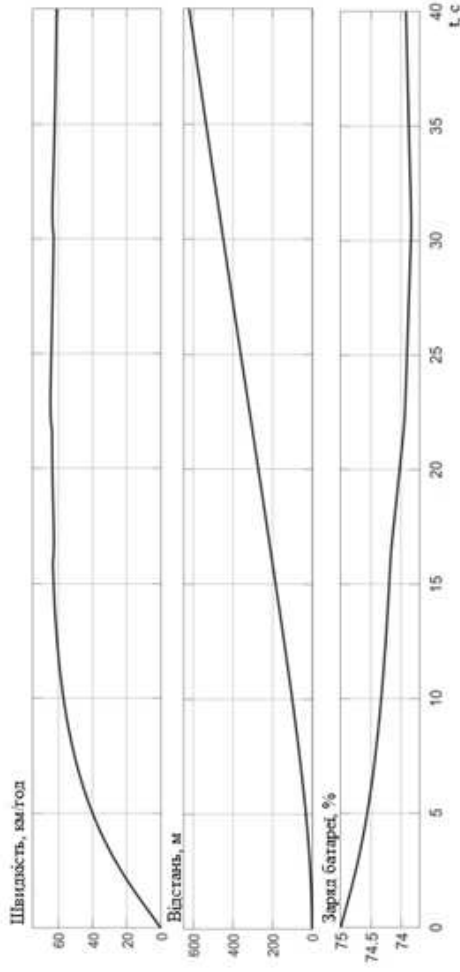








Рисунок 5.5 – Перехідні процеси швидкості транспортного засобу, струму двигуна та заряду акумуляторної батареї з алгоритмом нечіткої логіки

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано варіанти компонування тягової системи транспортного засобу для підвищення його енергоефективності.
2. Здійснено розрахунок та вибір типу тягового двигуна для транспортного засобу – безколекторного двигуна постійного струму, попередньо оцінено потужність обраного двигуна. Вибір обумовлений високим коефіцієнтом питомої потужності, низькою інерційністю ротора, високим крутним моментом на низьких частотах обертання, високим коефіцієнтом корисної дії за рахунок відсутності обмоток у роторі, а також можливістю роботи в широкому швидкісному діапазоні, у тому числі в режимі ослабленого поля.
3. Запропоновано функціональну схему тягової системи транспортного засобу на базі чотирьох мотор-колів. Розроблено систему електронного диференціала для варіанта компонування з чотирма мотор-колесами на базі безколекторних двигунів постійного струму.
4. Проведено імітаційне моделювання з метою оцінки енергоефективності розглянутих систем. Розроблено схему системи стабілізації лінійної швидкості транспортного засобу для безколекторних двигунів постійного струму із застосуванням алгоритму нечіткої логіки з оптимізацією енергоспоживання під час руху.
5. Виконано техніко-економічний розрахунок величини витрат запропонованого варіанту системи електропривода. Визначено, що за рахунок впровадження запропонованих рішень досягається економія річних експлуатаційних витрат. Це підтверджує правильність виконаних досліджень та економічну доцільність впровадження даного технічного рішення.
6. Визначено основні положення щодо безпечної експлуатації досліджуваного електротехнічного комплексу в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища.

Державний науково-дослідницький центр «Інститут автомобіля» НАН України
 01033 Київ, вул. Академіка Глушківського, 10

					08-16.МКР.004.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-коліс. Мета, задачі та об'єкт дослідження.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Мякищенко В.В.		15.11.11				
Перевірив:		Паянко О.А.		15.11.11				
Т. конгр.				19.12.11		Аркуш	Аркушів	
Рецензент:		Буденко О.А.		20.11.11		ВНТУ, гр. ЕПА-21м		
Норм. кон.		Новаконт		20.11.11				
Затверд.		Мошпоріт М.М.		02.11.12				

08-16.МКР.004.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-коліс. Обґрунтування вибору компоновки системи ТЕП.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Микитченко В.В.		15.11.12				
Перевірів:		Паянок О.А.		15.11.12				
Т. контр.								
Норм.кон.		Мошноріз М.М.		30.11.12				
Затверд.		Мошноріз М.М.		30.11.12				

ВНТУ, гр. ЕПА-21м

08-16.МКР.004.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-колів. Вимоги та критерії побудови ТЗ з тяговим електроприводом.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Михитченко В.В.	<i>[Signature]</i>	15.11.24				
Перевірив		Паянок О.А.	<i>[Signature]</i>	15.11.24				
Т. контр.								
Реципієнт		Буденко	<i>[Signature]</i>	19.11.24				
Норм.кон.		М.М.М.М.	<i>[Signature]</i>	30.11.24				
Затверд.		Мошноріз М.М.	<i>[Signature]</i>	30.11.24				

ВНТУ, гр. ЕПА-21м

					08-16.МКР.004.00.000				
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-коліс. Розрахунок параметрів тягової системи.	Літ.	Маса	Масштаб	
Розробив:		Мижитченко В.В.		15.11.12					
Перевірив		Паянок О.А.		15.11.12					
Т. конгр.									
Рецензент		Бондаренко		15.11.12					
Нормкон.		Полмох		30.11.12					
Затверд.		Мошпоріт М.М.		30.11.12					
						Аркуш	Аркушів		
						ВНТУ, гр. ЕПА-21м			

08-16.МКР.004.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Микитченко В.В.		15.11.22			
Перевірів		Паянок О.А.		15.11.22			
Т. контр.							
Результат:		Бєдєнко О.П.		15.11.22	ВНТУ, гр. ЕПА-21м		
Норм. кон.		Павлюк О.П.		15.11.22			
Затверд.		Мошноріз М.М.		15.11.22			

Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-коліс. Вибір джерела живлення для ТЕП.

Аркуш Аркушів

					08-16.МКР.004.00.000 Е2			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-коліс. Розробка системи стабілізації швидкості. Електронний диференціал.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Мякищенко В.В.		15.11.22				
Перевірив		Паянок О.А.		15.11.22				
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Розробив		Буденко О.О.		15.11.22		ВНТУ, гр. ЕПА-21м		
Норм. кон.		Винокур О.А.		30.11.22				
Затверд.		Мошноріз М.М.		30.11.22				

08-16.МКР.004.00.000 Е2

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-колів. Розробка системи стабілізації швидкості.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Микитченко В.В.		15.11.12				
Перевірив		Паянок О.А.		15.11.12				
Т. контр.								
Рецензент		Бідавінська		19.11.12				
Норм. кон.		Пилипенко		30.11.12				
Затверд.		Мошноріз М.М.		30.11.12				

ВНТУ, гр. ЕПА-21м

08-16.МКР.004.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-коліс. Модулювання системи електронного диференціалу.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Микитченко В.В.		15.11.22				
Перевірив		Паянок О.А.		15.11.22				
Т. контр.								
Рецензент		Борисенко		15.12.22				
Норм. кон.		Паянок О.А.		16.12.22				
Затверд.		Мошноріз М.М.		30.11.22				
						Аркуш	Аркушів	
						ВНТУ, гр. ЕПА-21м		

08-16.МКР.004.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-коліє. Моделювання системи електронного диференціалу.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Микитченко В.В.		15.11.22				
Перевірив:		Паянок О.А.		15.11.22				
Т. контр.								
Висновок		Григорук О.А.		14.11.22				
Норм. кон.		Григорук О.А.		30.11.22				
Затверд.		Мошнорізі М.М.		20.11.21				
						Аркуш	Аркушів	
						ВНТУ, гр. ЕПА-21м		

08-16.МКР.004.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-колес. Моделювання системи стабілізації лінійної швидкості ТЗ.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Мижитченко В.В.		15.11.22				
Перевірив		Паянок О.А.		15.11.22				
Т. конгр.								
Рецензент		Бондаренко В.В.		19.11.22				
Норм.кон.		Паянок О.А.		30.11.22				
Затверд.		Мошпоріт М.М.		30.11.22				
						Аркуш	Аркушів	
						ВНТУ, гр. ЕПА-21м		

					08-16.МКР.004.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-колес. Моделювання системи стабілізації лінійної швидкості ТЗ.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Микитченко В.В.		15.11.22				
Перевірив		Паянок О.А.		15.11.22				
Т. контр.						Аркуш		Аркушів
Аналізував		Боденко Р.Р.		14.12.22				
Норм. кон.		Машкоп О.Т.		30.11.22				
Затверд.		Мошпорізі М.М.		30.11.22			ВНТУ, гр. ЕПА-21м	

08-16.МКР.004.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-коліс. Використанням алгоритмів нечіткої логіки.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Мижитченко В.В.		15.11.17				
Перевірив		Паянок О.А.		15.11.17				
Т. контр.								
Рецензент		Бурдаско О.		15.12.17				
Норм.кон.		Шибанова О.І.		30.11.17				
Затверд.		Мошноріз М.М.		30.11.17				
						Аркуш	Аркушів	
						ВНТУ, гр. ЕПА-21м		

08-16.МКР.004.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Микичченко В.В.	<i>[Signature]</i>	15.11.22			
Перевірів		Паянок О.А.	<i>[Signature]</i>	15.11.22			
Т. контр.							
Рецензент		Бабенко О.П.	<i>[Signature]</i>	19.11.22	Архив		
Норм. кон.		Павленко О.А.	<i>[Signature]</i>	30.11.22	Архив		
Затверд.		Мошноріз М.М.	<i>[Signature]</i>	30.11.22	ВНТУ, гр. ЕПА-21м		

Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-колес. Використанням алгоритмів нечіткої логіки.

08-16.МКР.004.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Миягиченко В.В.		15.11.22			
Перевірив:		Павлюк О.А.		15.11.22			
Т. контр.							
Рецензує:		Боденко О.А.		15.11.22			
Норм. кон.		Романенко О.А.		30.11.22			
Затверд.		Мошнороз М.М.		30.11.22			

Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-коліс. Висновки.

Аркуш Аркушів

ВНТУ, гр. ЕПА-21м

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода транспортного засобу на базі мотор-колів»
Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-21м
Науковий керівник: к.т.н., доц. Паянок О.А.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність	96,7%
Схожість	3,3%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

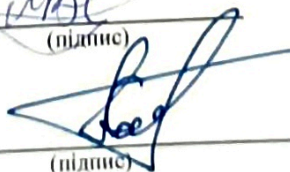
Автор роботи


(підпис)

Микитченко В.В.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)