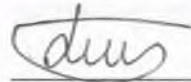


Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
(повна назва інституту / факультету)

Кафедра автоматики
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри


(підпис)

I. С. Білюк

«20» 12 2024 р.

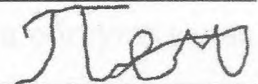
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

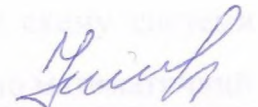
освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
(назва освітньої програми)

на тему: Тяговий електропривод на базі вентильного двигуна

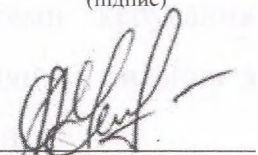
Виконав: студент групи 6372м
Печериця Юрій Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник проф. каф. автоматики, д.е.н.,
проф. Надточій І. І.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент проф. каф. ПЕЕТ, д.т.н.,
проф. Ушкаренко О. О.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент 
(підпис)

м. Миколаїв – 2024 року

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 64 с., 4 р., 14 рис., 2 табл., 1 дод., 8 джерел.

Ключові слова: автомобіль, вентильний двигун, моделювання, перехідна характеристика, тяговий електропривод.

Об'єкт дослідження – перехідні процеси в тяговому електроприводі на базі вентильного двигуна.

Мета роботи – синтез системи керування тягового електропривода на базі вентильного двигуна.

Методи дослідження – моделювання перехідних процесів в тяговому електроприводі з використанням сучасної теорії автоматичного керування та електропривода, імітаційне моделювання в MATLAB, обробка та аналіз отриманих результатів.

У першому розділі розглянуто класифікацію гібридних автомобілів, проаналізовано їх переваги та недоліки. Наведено опис складових елементів силової частини гібридного автомобіля. Розділ 2 містить вибір та обґрунтування методу наукового дослідження, алгоритм дослідження та метод розв'язання поставленого завдання. У розділі 3 побудовано функціональну схему системи керування електропривода на базі вентильного двигуна та складено математичний опис цієї системи. Проведено дослідження динаміки системи керування електропривода на базі вентильного двигуна. В розділі 4 розглянуті питання з охорони праці. Додаток містить слайди мультимедійної презентації.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ	6
1.1 Класифікація гібридних автомобілів.....	6
1.2 Переваги і недоліки гібридних автомобілів	8
1.3 Складові елементи силової частини Toyota Prius	11
1.4 Висновки до розділу 1	17
2 ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	18
2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження	18
2.2 Розробка алгоритму дослідження.....	20
2.3 Вибір методів розв’язання поставленої задачі	22
2.4 Висновки до розділу 2	25
3 АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	26
3.1 Побудова функціональної схеми системи керування електропривода на базі вентильного двигуна	26
3.2 Математичний опис системи керування електропривода на базі вентильного двигуна	29
3.3 Дослідження динаміки системи керування електропривода на базі вентильного двигуна	35
3.4 Висновки до розділу 3	41
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	42
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів	42
4.2 Техніка безпеки	47
4.3 Висновки до розділу 4	60
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	63
ДОДАТОК А. Мультимедійна презентація.....	65

ВСТУП

Актуальність теми. В автомобілебудуванні на сьогоднішній час приділяється дуже серйозна увага питанням створення ресурсозберігаючих, ефективних та екологічно чистих транспортних засобів.

Найбільш перспективним напрямком вирішення завдання підвищення екологічної чистоти і економічності автомобілів вважається використання тягового електропривода. Саме тому вектор розвитку сучасних автомобілів в даний час спрямований на створення гібридних конструкцій, основною складовою частиною яких є електричний тяговий привод.

Однак питання щодо однозначного вибору типу тягового привода для автомобіля в даний час залишається відкритим і для його вирішення необхідний аналіз динамічних і енергетичних показників транспортного засобу в цілому [1].

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є синтез системи керування тягового електропривода на базі вентильного двигуна. Щоб досягти поставленої мети, слід розв'язати наступні завдання:

- 1) розглянути класифікацію гібридних автомобілів, проаналізувати їх переваги та недоліки. Скласти опис елементів силової частини Toyota Prius;
- 2) побудувати функціональну схему керування електропривода на базі вентильного двигуна;
- 3) скласти математичний опис системи керування електропривода та виконати розрахунок параметрів її елементів;
- 4) дослідити динаміку системи керування електропривода на базі вентильного двигуна.

Об'єкт дослідження. Перехідні процеси в тяговому електроприводі на базі вентильного двигуна.

Предмет дослідження. Параметри системи керування електропривода з вентилювальним двигуном, які впливають на якість керування.

Методи дослідження. моделювання перехідних процесів в тяговому електроприводі з використанням сучасної теорії автоматичного керування та електропривода, імітаційне моделювання в MATLAB, обробка та аналіз отриманих результатів.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Класифікація гібридних автомобілів

У загальному випадку гібридний автомобіль – автомобіль, який використовує в якості рушійної сили зв'язку з електродвигуна та двигуна внутрішнього згорання, що живиться як звичайним паливним паливом, так і зарядом акумуляторної батареї.

З практичної точки зору автомобіль не можна називати гібридом, якщо він не вміє відключати двигун під час зупинок, не використовує систему рекуперативного гальмування і не використовує електромотор хоча б в якості допоміжного двигуна. Загальний вигляд гібридного автомобіля представлений на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд гібридного автомобіля Toyota Prius

Сьогодні автоконструктори розвивають п'ять основних різновидів гібридних автомобілів [2, 3].

1.1.1 Послідовний гібрид. У такій гібридній системі ДВЗ працює в максимально економічному режимі, виключно для того щоб заряджати батарею електродвигуна. Сам автомобіль приводиться в рух електромотором

1.1.2 Паралельний гібрид. В такому гібриді ДВЗ і електродвигун працюють незалежно один від одного, і, залежно від типу (м'який або повний гібрид), можуть приводити автомобіль у рух одночасно або по черзі.

1.1.3 М'який гібрид. Тут традиційний стартер і генератор повністю замінені на електродвигун, який використовується для запуску двигуна і його підтримки. Це допомагає збільшити динаміку автомобіля і знизити споживання палива приблизно на 15 %. Електромотор і батареї не призначені для того, щоб самостійно приводити автомобіль у рух. Зате це дає можливість значно їх полегшити і здешевити, в порівнянні з компонентами повного гібриду. BMW 7 ActiveHybrid використовує якраз концепцію м'якого гібриду.

1.1.4 Повний гібрид. У повністю гібридних системах автомобіль може приводитися в рух електромотором на будь-якому етапі руху: і при прискоренні, і в русі з постійною швидкістю. Наприклад, в “міському циклі” автомобіль може використовувати один тільки електродвигун. Компоненти системи такої концепції помітно більше, масивніше, їх набагато складніше встановити, ніж у випадку з “м'яким” гібридом. Тим не менш, вони можуть значно покращити динаміку автомобіля. Крім того, використання тільки електроенергії при русі в місті може знизити витрату палива на 20 %. Повним гібридом є автомобіль BMW X6 Active Hybrid, Toyota Prius Hybrid.

1.1.5 Акумуляторний гібрид. Ємність, розмір і маса акумулятора залежать від його призначення. В останні роки нові розробки в цій області значно розширили можливість застосування батарей в автомобілях. Висока ємність і довговічність роблять Li-Ion і Ni-MH джерела живлення повністю придатними для використання в гібридних автомобілях.

1.2 Переваги і недоліки гібридних автомобілів

Проаналізуємо переваги та недоліки гібридних автомобілів на прикладі Toyota Prius [4]. Автомобіль має бензиновий двигун і два електричні мотор-генератори, а також акумулятор невисокої ємності 6,5 А·год (часто званий високовольтною батареєю, ВВБ). Електромотор здатний також працювати як генератор, перетворюючи кінетичну енергію в електрику і заряджаючи акумулятор. При цьому електроенергія може генеруватися як за рахунок роботи бензинового двигуна, так і за рахунок гальмування автомобіля (система рекуперативного гальмування). Мотори можуть працювати як окремо, так і разом. Роботою всіх двигунів керує бортовий комп'ютер. Бензиновий мотор є двигуном Аткинсона. Такі двигуни економічні, але мають відносно низьку потужність. Prius легко впізнати за його обтічної форми. Коефіцієнт аеродинамічного опору становить лише 0,26. Кондиціонер працює безпосередньо від акумулятора, незалежно від двигунів.

Кабіна обладнана сенсорним дисплеєм, що показує роботу двигунів, заряд акумулятора та інші параметри. Дисплей дозволяє керувати аудіо-системою і кондиціонером, але не автомобілем. Передачі (передня, нейтральна, задня, силова передача) переключаються не коробкою передач, а джойстиком, що знаходиться біля керма і кнопкою поряд з ним (для стоянки). “Ручне гальмо” зроблене у вигляді педалі під лівою ногою водія. Швидкість показується зеленим цифровим індикатором. Автомобіль відкривається електронним ключем запалювання; в разі його несправності можна потрапити в салон (але не їхати), використовуючи механічний ключ. Вмикається автомобіль натисканням кнопки Power при натиснутому гальмі.

Toyota Prius високоекономічен з кількох причин:

– ККД будь-якого бензинового мотора не є постійною величиною, а залежить від потужності. Завдяки можливості як додавати потужність за рахунок електромотора, так і витратити частину потужності на зарядку акумулятора, а також (на низьких швидкостях) взагалі вимикати бензиновий мотор і їхати тільки за рахунок електрики, вдається оптимізувати роботу двигуна;

- під час зупинок в пробках, перед світлофорами і т.д. двигун вимикається. У інших автомобілів він працює на холостому ходу, витрачаючи бензин. У тривалих пробках система життєзабезпечення (фари, бортовий комп'ютер, аудіосистема, підсилювачі гальм і керма) “з’їдають” заряд батареї і двигун запускається для підзарядки ВВБ, проте це все одно набагато економічніше, ніж “крутити” двигун об’ємом 2 літри (приблизний еквівалент силової установки Приуса);

- двигун Аткінсона економічний сам по собі. Його малопотужність є терпимим недоліком, оскільки додаткова потужність може забезпечуватися електромотором;

- при гальмуванні (наприклад, на крутому спуску) енергія запасється в акумуляторі завдяки рекуперативному гальмуванню;

- низький аеродинамічний опір знижує витрату палива, особливо на високих швидкостях або при сильному зустрічному вітрі;

- деякі моделі обладнані кнопкою EV, що активізує режим електромобіля. В цьому режимі автомобіль може плавно розганятися (до 57 км/год) і гальмувати, і на вільних шосе з малими перепадами висот може показувати високу ефективність. Додатковим плюсом є можливість в’їхати в погано провітрюваний гараж і не боятися отруїтися вихлопними газами. Проте в цьому режимі в холодну пору року можливості обігріву салону обмежені – всі сучасні машини обігрівають салон, відбираючи тепло з системи охолодження, що при непрацюючому двигуні остигає за кілька десятків хвилин.

1.2.1 Переваги Toyota Prius

1.2.1.1 Висока економічність, як наслідок – економія витрат на бензин і необхідність рідше заїжджати на заправку.

1.2.1.2 Низький рівень забруднення атмосфери. Частково це наслідок економічності (чим менше спалюється палива, тим менше шкідливих викидів), а частково – виключення двигуна на зупинках, коли в атмосферу потрапляють особливо шкідливі для здоров’я людей гази. У порівнянні з традиційним автомобілем Prius викидає в атмосферу на 85 % менше незгорілих вуглеводнів C_nH_m і окислів азоту NO_x .

1.2.1.3 Низький рівень шуму, з кількох причин:

- під час зупинок двигун вимикається;
- разом з бензиновим двигуном, а іноді й замість нього, працює більш тихий електродвигун.

1.2.1.4 Відмінна динаміка:

- тяговий електродвигун завжди видає максимальний крутний момент;
- відсутність КПП як такої (використовується планетарна передача).

1.2.1.5 Високий рівень безпеки для водія і пасажирів, з кількох причин:

- дві незалежні системи гальмування – рекуперативних і фрикційна;
- машина важка (1240 кг);
- високі результати краш-тестів для водія і пасажирів;
- електронний ключ запалювання.

1.2.2 Недоліки Toyota Prius

1.2.2.1 Більш висока ціна, ніж у звичайних автомобілів того ж класу. У багатьох країнах, однак, висока ціна частково компенсується податковими пільгами. Крім того, різницю в цінах частково або повністю компенсує економія бензину.

1.2.2.2 Існує думка, що безшумність машини може бути небезпечною для сліпих або неуважних пішоходів.

1.2.2.3 Автомобіль не рекомендується залишати без руху на строк більше 3 місяців через можливу розрядку акумуляторів.

1.2.2.4 Мала кількість фахівців з ремонту і автосервісів, ремонтують гібридні автомобілі.

1.2.2.5 При негативних температурах гідності гібридного привода можуть губитися, тому що двигун внутрішнього згоряння працює майже завжди, виробляючи енергію для обігріву салону, якщо він включений.

1.3 Складові елементи силової частини Toyota Prius

1.3.1 Двигун внутрішнього згоряння (рисунок 1.2). Двигун з об'ємом майже 1500 куб. см. видає всього 78 к. с. Подібні двигуни з таким об'ємом видають 109-110 к. с.

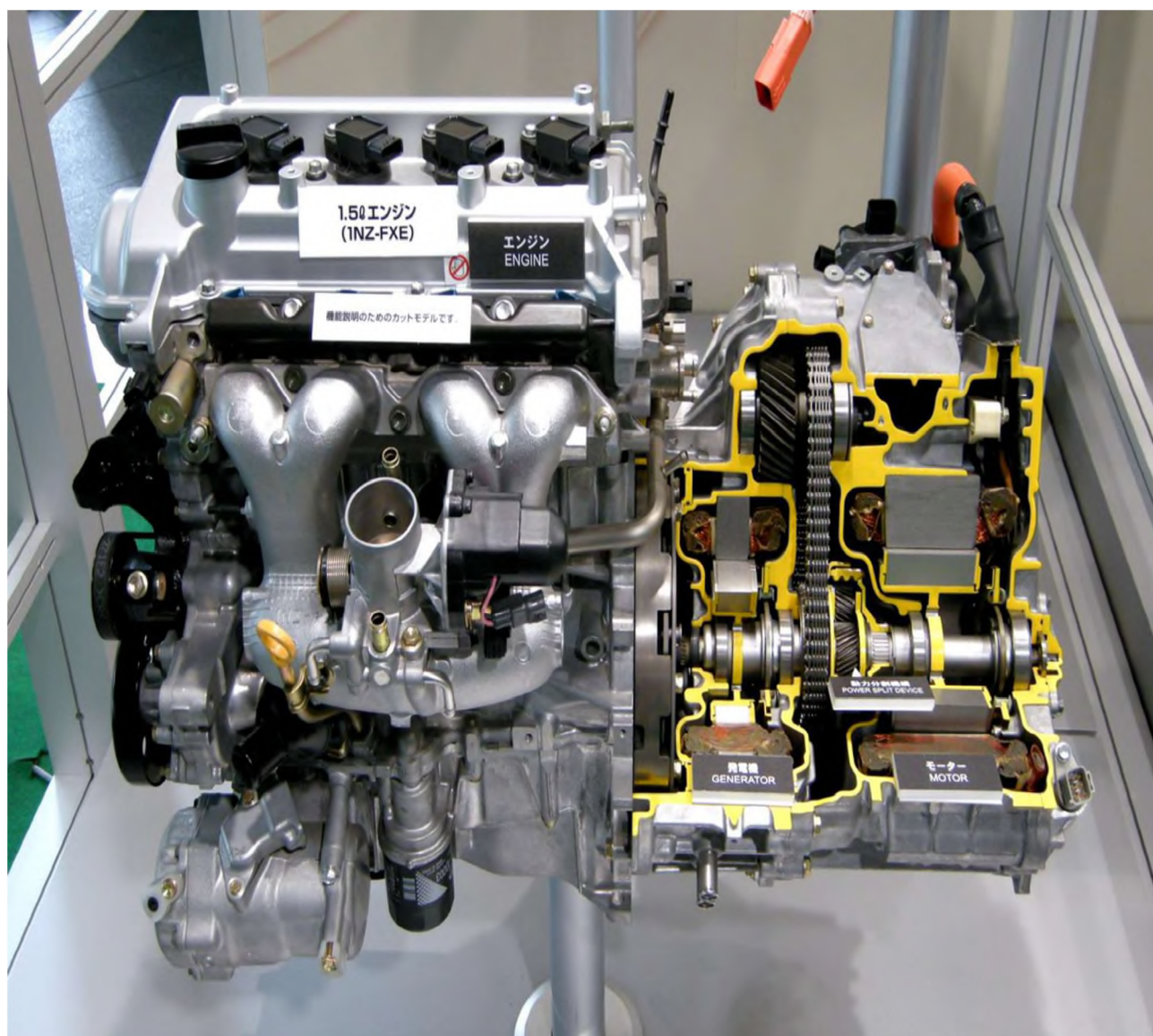


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд двигуна 1NZ-FXE

Японські конструктори думали про створення максимально екологічного автомобіля. Навіщо потрібен сильний двигун, якщо на допомогу йому надано електричний. Взявши за основу ДВЗ 1NZ-FE (109 к. с.), японці провели заходи щодо поліпшення екологічності двигуна і за його паливною економічністю. У двигуні

внутрішнього згоряння Приуса (Toyota Prius Gibrid) використовували іншу схему сумішоутворення, використовуючи цикл ATKINSONa (на 1NZ-FE використовується цикл ОТТО). У ДВЗ Приуса (Toyota Prius Hybrid) впускний клапан в нижній мертвій точці не закривається і залишається відкритим, в той час, коли поршень починає підніматися.

У зв'язку з цим частина паливноповітряної суміші витискається у впускний колектор і використовується в іншому циліндрі. Позитивне – зменшуються насосні втрати. Так як об'єм суміші, який стискається і згорає зменшений, то тиск при стисненні також зменшується, що дозволило підвищити ступінь стиснення до 13 без ризику детонації. У свою чергу підвищення ступеня стиснення сприяє збільшенню термічного ККД. Таким чином, вийшов двигун екологічний і надійний 1NZ-FXE з 78-сильним мотором.

1.3.2 Мотор-генератор. Приус (Toyota Prius Gibrid) оснащений двома електричними моторами-генераторами (MG), які схожі за конструкцією, але різні за розмірами. Це трифазні синхронні двигуни з постійними магнітами. Ротор (частина, яка обертається) – являє собою великий, потужний магніт і не має жодних електричних сполук. Статор (нерухома частина, прикріплена до корпусу автомобіля), містить три набори обмоток. Коли струм проходить в деякому напрямку через один комплект обмоток, ротор (магніт) взаємодіє з магнітним полем обмотки і встановлюється в деякому положенні.

Пропускаючи струм послідовно через кожний набір обмоток спочатку в одному напрямку, а потім в одному, можна переміщати ротор з одного положення до наступного і так змусити його обертатися. Звичайно, це спрощене пояснення, але показує суть даного типу двигуна.

Якщо ж ротор обертає зовнішня сила, електричний струм тече в кожному наборі обмоток по черзі і може використовуватися для заряду батареї або для живлення іншого двигуна. Таким чином, один пристрій може бути двигуном або генератором в залежності від того, чи пропускається струм в обмотках, щоб притягувати магніти ротора, або струм виходить, коли якась зовнішня сила обертає ротор.

MG1 (менший з максимальною потужністю генератор, 18 кВт) – через сонячну шестерню здійснює запуск ДВЗ та регулює його оберти зміною виробленої кількості електроенергії.

MG2 (мотор) через коронну шестерню і далі через редуктор на колеса приводить у рух автомобіль (його називають “тяговим двигуном”). Також MG2 повертає енергію гальмування, як генератор. Максимальна потужність MG2 – 50 кВт. Обидва MG охолоджуються антифризом.

1.3.3 Інвертор (рисунок 1.3). Для перетворення одного виду струму в інший, кожен MG на Приусі (Toyota Prius Gibrid) є інвертор. Інвертор керує струмом в обмотках, змінюючи його, підключає і вимикає напругу батареї на обмотки.



Рисунок 1.3 – Інвертор

Він працює тільки тоді, коли напруга на обмотках менше напруги батареї. Значення струму через обмотку визначає крутний момент. Цей струм дозволяє досягти дуже великого крутного моменту на малих обертах. Саме тому автомобіль

може почати рух із прийнятним прискоренням без використання коробки передач. У функцію інвертора входить і відключення високовольтної частини автомобіля при короткому замиканні або перегрів. У тому ж блоці з інвертором розташований конвертер для зворотного перетворення змінної напруги в постійне.

Інвертор має свою систему охолодження, яка приводиться в дію електропомпою. Помпа починає працювати відразу ж після включення запалення навіть при температурі мінус 40 градусів і у вертикальному режимі. Практична порада – перевіряйте регулярно рух антифризу (його відразу видно на працюючій машині) в розширювальному бачку гібридної системи.

1.3.4 Високовольтна батарея. Високовольтна батарея Prius в 10 кузові складається з 240 елементів номінальною напругою 1,2 В, дуже схожих на батарейку для ліхтарика розміру D,

об'єднаних по 6 штук, в так звані “бамбуки” (зовні є невелика схожість). “Бамбуки” встановлені по 20 штук в 2 корпуса. Загальна номінальна напруга ВВБ становить 288 В.

Робоча напруга коливається в режимі холостого ходу від 320 до 340 В. При падінні ж напруги до 288 В в ВВБ запуск ДВЗ стає неможливий. При цьому на екрані дисплея буде горіти символ батареї із позначкою “288” всередині. Щоб запустити ДВЗ, японці в 10-м кузові застосували штатний зарядний пристрій, доступ до якого здійснюється з багажника.

Prius також має допоміжну акумуляторну батарею. Це 12-вольтна, ємністю 28 ампер-годин кислотна-свинцева батарея, яка знаходиться в лівій частині багажника (в 20 кузові – у правій). Її мета полягає в тому, щоб живити електроніку і додаткові пристрої, коли гібридна система вимкнена, і головне реле батареї високої напруги вимкнене. Коли гібридна система працює, 12-вольтним джерелом служить перетворювач постійного струму, що перетворює змінний струм від системи високої напруги в постійний струм 12 В. Він також заряджає допоміжну батарею у разі потреби.



Рисунок 1.4 – Високовольтна батарея

1.3.5 Пристрій розподілу потужності. Крутний момент і енергія ДВЗ і моторів-генераторів об'єднані і розподіляються планетарним набором шестерень, названим Toyota “пристроєм розподілу потужності” (PSD, Power Split Device). І хоча воно не складно для виробництва, цей пристрій є досить важким для його розуміння і ще більш мудрим, щоб розглянути в повному контексті всі режими роботи привода. Коротше кажучи, це дозволяє Prius працювати і в послідовному, і в паралельному гібридних режимах роботи одночасно і отримувати деякі з переваг кожного режиму. ДВЗ може крутити колеса безпосередньо (механічно) через PSD.



Рисунок 1.5 – Пристрій PSD

У той же самий час змінну кількість енергії може бути знято з ДВЗ і перетворено в електрику. Воно може заряджати батарею або передаватися до одного з моторів-генераторів, щоб допомагати крутити колеса. Гнучкість цього механічного та електричного розподілу енергії дозволяє Prius покращувати показники паливної економічності і керувати викидами під час руху, що неможливо при жорсткому механічному зв'язку між ДВЗ і колесами, як в паралельному гібриді, але без втрат електричної енергії, як у послідовному гібриді. Prius, як часто говорять, має CVT (Continue Variable Transmission) – безступінчатий-регульовану або постійно-змінну трансмісію, це і є пристрій розподілу потужності PSD. Проте звичайна безступінчато-регульована передача працює точно так само, як нормальна коробка передач за винятком того, що передавальне відношення може змінюватися безперервно (плавно), а не в невеликому діапазоні кроків (перша передача, друга передача і т.д.).

1.4 Висновки до розділу 1

1.4.1 Розглянуто класифікацію автомобілів-гібридів, проаналізовано їх переваги та недоліки. Виявлено, що гібрид Toyota Prius має змішану послідовно-паралельну схему. Вибір послідовної, паралельної чи змішаної схем залежить від режиму руху автомобіля, наприклад: шосе, автострада чи міський рух. Вибір режиму також залежить від функцій транспортного засобу.

1.4.2 Наведено особливості гібридного автомобіля на прикладі Toyota Prius та опис його конструкції, складових елементів силової частини. Слід зазначити, що у двигуні внутрішнього згоряння Пріуса (Toyota Prius Hybrid) використано цикл ATKINSONa (на 1NZ-FE використовується цикл ОТТО) – впускний клапан в нижній мертвій точці не закривається і залишається відкритим, в той час, коли поршень починає підніматися.

2 ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження

Метод (від грецького *methodos* – шлях до чого-небудь) – в найбільш загальному випадку означає засіб досягнення мети, спосіб дослідження явища, який означає планомірний підхід до їх наукового пізнання та встановлення істини. Науковий метод – це спосіб пізнання явищ дійсності в їх взаємозв'язку та розвитку, спосіб досягнення поставленої мети і завдань дослідження і відповідає на запитання: «Як пізнавати?».

Методика дослідження – це система правил використання методів, прийомів та способів для проведення будь-якого дослідження. Свідоме застосування науково-обґрунтованих методів слід розглядати як найсуттєвішу умову отримання нових знань.

Кожний метод наукового пізнання слід розглядати як систему регулятивних принципів практичної і теоретичної діяльності людини. Методів пізнання об'єктивної дійсності відомо дуже багато. Правильний вибір методів дослідження потребує знання їх класифікації.

Досить поширеним є поділ основних типів методів за двома ознаками: мети і способу реалізації.

За першою ознакою виділяються так звані первинні методи, що використовуються з метою збору інформації, вивчення джерел, спостереження, опитування та ін. Вторинні методи використовуються з метою обробки та аналізу отриманих даних – кількісний та якісний аналіз даних, їх систематизація, шкалювання та ін.

Візуальні, або графічні, методи – графи, схеми, діаграми, картограми та ін. дають змогу отримати синтезоване уявлення про досліджуваний об'єкт і водночас наочно показати його складові, їхню питому вагу, причинно-наслідкові зв'язки, інтенсивність розподілу компонентів у заданому об'ємі. Ці методи тісно пов'язані з комп'ютерними технологіями.

У прикладних аспектах гуманітарних наук доцільно використовувати математичні методи. Математичний апарат теорії ймовірностей дає можливість вивчати масові явища в соціології, лінгвістиці. Математичні методи відіграють важливу роль при обробці статистичних даних, моделюванні.

Сучасна методологія вкладає новий зміст у традиційне уявлення про теоретичні (математичні) та емпіричні (експериментальні) методи дослідження в природних і технічних науках.

Складовою частиною наукових досліджень є експеримент.

Експеримент представляє собою науково поставлений дослід або спостереження явища або процесу в точно враховуваних умовах, що дозволяють стежити за ходом експерименту, керувати ним, відтворювати його щоразу при повторенні цих умов.

Серед відомих методів дослідження складних електромеханічних систем можна виділити фізичне, імітаційне, аналогове та математичне моделювання.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, яка відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні та функціональні характеристики та властивості оригіналу (але не обов'язково всі властивості) та має великі можливості з визначення різноманітних якостей електромеханічних систем ті їх елементів.

Метод математичного моделювання ґрунтується на здатності математично описувати рівняннями різні за природою явища (процеси) та виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

Аналогове моделювання базується на однаковому для моделі та природи математичному описі та використовується для імітації на основі аналогової фізичної системи по її елементам. При цьому кожному з фізичних елементів природи в моделі відповідає певний еквівалент. У якості моделей використовуються електричні кола, складені з пасивних та активних елементів.

При математичному моделюванні застосовуються аналітичні та статистичні моделі. Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число факторів, завжди

потребують деяких припущень та спрощень. Проте вони більше пристосовані для пошуку оптимальних рішень.

Комп'ютерна модель (або чисельна) – комп'ютерна програма, яка реалізує абстрактну модель деякої системи. Комп'ютерні моделі використовуються для отримання нових знань про об'єкт, що моделюється або для приблизної оцінки поведінки математичних систем, які досить складні для аналітичного дослідження. Комп'ютерне моделювання є одним з ефективних методів вивчення складних систем. Комп'ютерні моделі простіші та їх зручніше досліджувати в силу можливості проводити обчислювальні експерименти в тих випадках, коли реальні експерименти немає можливості проводити через фінансові труднощі або фізичні перешкоди. Для підтримки математичного моделювання розроблені системи комп'ютерної математики, наприклад, Maple, Mathematica, Mathcad, MATLAB, Scilab, VisSim та інші. В даній роботі використовується програма Simulink пакету MATLAB.

2.2 Розробка алгоритму дослідження

Методологія – це система базисних принципів, методів, методик, способів і засобів їх реалізації в організації та побудові науково-практичної діяльності. Вона включає в себе методи теоретичного та емпіричного пізнання і являє собою алгоритм пошуку і досягнення мети.

Основне призначення методики дослідження полягає у тому, щоб на основі відповідних принципів (вимог, умов, обмежень тощо) забезпечити успішне вирішення визначених мети і завдань наукового дослідження.

Алгоритм дослідження представлено в табличній формі (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Алгоритм дослідження

Синтез системи керування тягового електропривода на базі вентильного двигуна	
Складання індивідуального календарного плану роботи	
Пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії	
Підготовка теоретичної частини	Аналіз ролі гібридних автомобілів у проблемах екології
	Ознайомлення з класифікацією гібридних автомобілів
	Опис складових елементів силової частини Toyota Prius
	Побудова функціональної схеми системи керування електропривода на базі вентильного двигуна
	Математичний опис системи керування електропривода на базі вентильного двигуна
Опис процесу дослідження	Моделювання тягового електропривода на базі вентильного двигуна в MATLAB
	Дослідження якості керування тягового електропривода на базі вентильного двигуна
Узагальнення результатів моделювання	Аналіз і узагальнення результатів досліджень
	Інтерпретація отриманих результатів дослідження
	Формулювання висновків
Узагальнення науково-теоретичних результатів	
Розробка заходів з охорони праці	

Алгоритм складено на підставі головних завдань дослідження і наочно відображає його послідовність: мотивацію; формулювання проблеми дослідження; пошук теоретичної основи розв'язання проблеми; розв'язання проблеми. Він розкриває процедуру дослідження і встановлює логічну послідовність виконання структурних розділів і підрозділів кваліфікаційної роботи.

2.3 Вибір методів розв'язання постановленої задачі

Кваліфікаційна робота не передбачає проведення експериментальних досліджень, має теоретичний характер, тому основним методом для відображення отриманих результатів є моделювання.

Моделювання як метод наукового пізнання виникло в зв'язку з необхідністю вирішення завдань, які з тих чи інших причин не можуть бути вирішені безпосередньо. Вони виникають у випадках, коли об'єкт або недосяжний для дослідника, або він ще не існує і потрібно обрати оптимальний варіант його створення, або дослідження реального об'єкта вимагає багато часу та економічно не вигідне тощо. Таким чином, модель виконує функцію проміжної ланки між дослідником та об'єктом пізнання. Метод моделювання передбачає, що об'єкт вивчається не безпосередньо, а шляхом дослідження іншого об'єкта, який є аналогом першого.

Модель (від лат. *modulus* – міра) – це певний умовний образ об'єкта дослідження, котрий замінює останній і перебуває з ним у такій відповідності, яка дозволяє отримати нове знання. Модель будується для того, щоб відобразити характеристики об'єкта (елементи, взаємозв'язки, структурні та функціональні властивості), суттєві з точки зору мети дослідження. Отже, моделювання пов'язане зі спрощенням, огрубінням прототипу, абстрагуванням від ряду його властивостей, ознак, сторін.

Характерною ознакою моделей можна вважати їх спрощеність стосовно оригіналу або реальної життєвої ситуації, яку моделюють. Спрощеність моделей є неминучою, тому що оригінал лише в обмеженій кількості відношень відображується в моделі.

Отже, моделювання з точки зору наукового дослідження – це метод опосередкованого пізнання за допомогою штучних або природних систем, які зберігають певні особливості об'єкта і, таким чином, заміщуючи його, дають змогу отримати нове знання про оригінал.

У системному аналізі моделі є дуже важливим компонентом дослідження та проектування нових систем. Не менш важливий і прагматичний аспект моделювання, при якому модель розглядається як засіб керування системою.

Модель є цільовим відображенням об'єкта-оригіналу, що виявляється у множинності моделей одного й того ж об'єкта, тобто для різної мети або завдань дослідження можна будувати різні моделі, тому мета або завдання дослідження визначають, які саме ознаки системи мають бути відображені в моделі. Процес дослідження реальних систем, що охоплює побудову моделі, дослідження її властивостей і перенесення одержаних відомостей на реальну систему, називають моделюванням.

Основна функція моделі – це її використання як засобу пізнання. До конкретизованих (похідних від основної) функцій належать: засіб наукового осмислення дійсності, засіб спілкування, засіб навчання і тренування, інструмент прогнозування, засіб постановки та проведення експерименту.

Головними рівнями дослідження та моделювання систем є мікро- та макрорівень. Мікрорівневе моделювання системи пов'язане з детальним описом кожного компонента системи, дослідженням її структури, функцій, взаємозв'язків, тощо.

Макрорівневе моделювання полягає в ігноруванні детальної структури системи та вивченні лише загальної поведінки системи як єдиного цілого.

Для детальнішого опису систем використовують моделі складу та моделі структури. Модель складу системи відображає, з яких елементів і підсистем складається система, а модель структури застосовується для відображення відношень між елементами та зв'язків між ними.

Модель структури описує суттєві зв'язки між елементами та підсистемами. При використанні графічних моделей будову систем подають у вигляді так званих структурних схем. Структурні схеми наглядні та містять інформацію про велику кількість властивостей системи.

Залежно від форми подання об'єкта моделювання поділяють на реальне та абстрактне.

При реальному моделюванні використовують можливість дослідження характеристик на реальному об'єкті чи на його частині, а при натурному – проводять дослідження на реальному об'єкті з подальшим обробленням результатів експерименту на основі теорії подібності.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, що відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні і функціональні властивості “оригіналу” і володіє великими можливостями по визначенню різних якостей електромеханічних систем та їх елементів.

Абстрактне моделювання має різні види: наочне, символічне, математичне. Метод математичного моделювання заснований на здатності математично описувати рівняннями різноманітні за природою явища (процеси) і виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

При математичному моделюванні застосовують аналітичні та статистичні моделі. Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число чинників, завжди вимагають деяких припущень і спрощень, проте вони більш пристосовані для пошуку оптимальних рішень. Статистичні методи в порівнянні з математичними громіздкі і погано осяжні.

Дослідження математичної моделі дає змогу отримати характеристики реального об'єкта чи системи. Вигляд математичної моделі залежить як від природи системи, так і від завдань дослідження. Математична модель системи містить, як правило, опис множини можливих станів системи та закон переходу з одного стану в інший. Математичне моделювання охоплює імітаційне, інформаційне, структурне, ситуаційне тощо.

На етапі вибору математичної моделі встановлюються: лінійність і не лінійність об'єкта, процесу або системи, динамічність або статичність, стаціонарність або не стаціонарність, а також ступінь детермінованості досліджуваного об'єкта чи процесу. При математичному моделюванні свідомо відволікаються від конкретної фізичної природи об'єктів, процесів або систем і, в основному, зосереджуються на вивченні кількісних залежностей між величинами, що описують ці процеси.

На базі складених диференційних рівнянь проводиться математичне моделювання системи керування електропривода. За допомогою програми Simulink досліджуються перехідні характеристики системи при зміні задавальних параметрів.

Слід зазначити, що метод моделювання – вивчення явищ за допомогою моделей – сьогодні має особливе значення для вирішення складних фізичних завдань, чому значною мірою сприяє зростання продуктивності обчислювальної техніки. Саме тому в представленій роботі як основа використано метод моделювання.

2.4 Висновки до розділу 2

2.4.1 Для дослідження автоматизованого електропривода в роботі обрано математичне моделювання, яке сьогодні є одним з ефективних методів вивчення складних систем.

2.4.2 На підставі головних завдань дослідження розроблено алгоритм дослідження, який наочно відображає його послідовність: мотивацію; формулювання проблеми дослідження; пошук теоретичної основи розв'язання проблеми; розв'язання проблеми.

2.4.3 Моделювання є основним методом для отримання результатів, оскільки робота має теоретичний характер. На базі складеної математичної моделі системи керування електропривода в програмі Simulink пакету MATLAB проводиться математичне моделювання та досліджуються перехідні процеси.

3 АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Побудова функціональної схеми керування електропривода на базі вентильного двигуна

Гібридна силова установка поєднує двигун внутрішнього згорання і електромотор, що забезпечує меншу витрату палива і знижує токсичність вихлопних газів. Однак чим економічніше гібридний автомобіль, тим більш ємкі акумулятори йому потрібні і, отже, тим вище його ціна.

Як було сказано раніше в залежності від того, яку роль в силевій установці грає електромотор гібриди поділяються на три типи, одним з яких є так званий «повний гібрид» (full hybrid). Саме такий тип використовується у моделі автомобіля Toyota Prius Hybrid. Гібриди цього типу оснащені фірмовим «сінергетичним» приводом HSD (Hybrid Synergy Drive), функціональну схему якого наведено на рисунку 3.1.

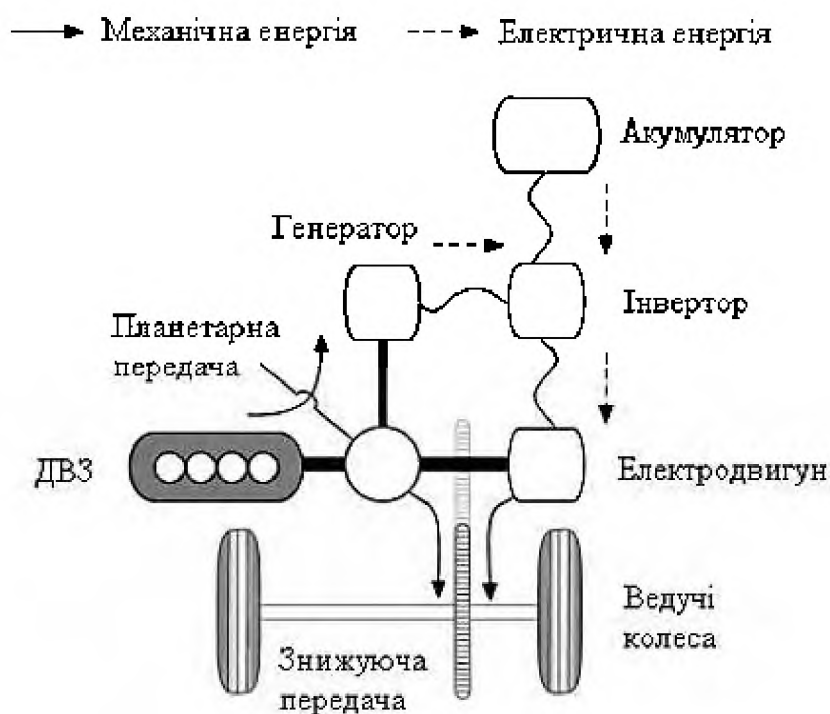


Рисунок 3.1 – Функціональна схема силової частини повного гібрида

В даний час в якості тягового електропривода часто застосовують вентиляний двигун (ВД) [5]. Розглянемо систему координат (d, q) , пов'язану з ротором ВД і нерухому щодо нього. Будемо вважати, що вісь d поєднана з віссю магнітного потоку ротора. У даній системі координат рівняння для електромагнітних процесів ВД в скалярній формі можна записати у вигляді [6, 7]:

$$\begin{cases} u_d = R_1 \cdot i_d + L_{1d} \cdot \frac{di_d}{dt} - p_p \cdot \omega \cdot L_{1q} \cdot i_q, \\ u_q = R_1 \cdot i_q + L_{1q} \cdot \frac{di_q}{dt} - p_p \cdot \omega \cdot L_{1d} \cdot i_d + p_p \cdot \omega \cdot \psi_{mag}, \\ M_{VD} = \frac{3}{2} \cdot p_p \cdot (\psi_{mag} + i_d \cdot (L_{1d} - L_{1q})) \cdot i_q \end{cases} \quad (3.1)$$

де u_d, u_q, i_d, i_q – проекції векторів напруги та струму статора на осі обертається системи координат; L_{1d} та L_{1q} – повні індуктивності обмоток статора по поздовжній і поперечній осях; R_1 – активний опір фазних обмоток; ψ_{mag} – вектор потокозчеплення статора щодо магнітного потоку ротора; p_p – число пар полюсів; ω – кутова швидкість обертання ротора; M_{VD} – електромагнітний момент ВД.

На підставі наведених рівнянь керування електромагнітним моментом ВД може здійснюватися за допомогою регулювання поздовжньої і поперечної складових струму статора з урахуванням обмежень області припустимих режимів.

Значення складових струму статора ВД i_d^* і i_q^* необхідні для забезпечення заданого тягово-швидкісного режиму, визначаються з урахуванням обраного критерію якості керування. Якщо критерієм якості виступає мінімум повного струму споживання ВД в статичному режимі, оптимальна залежність $[i_d^*, i_q^*] = f(\beta_M, \omega)$ може бути отримана з умови:

$$\begin{cases} i_d^* = \arg_{i_d \in [-I_{max}, 0]} \min(I_m(i_d, M_{VDzd})) \\ i_q^* = \sqrt{\left(\arg_{i_d \in [-I_{max}, 0]} \min(I_m(i_d, M_{VDzd})) \right)^2 - i_d^2}, M_{VDzd} = const, \end{cases} \quad (3.2)$$

де

$$I_m = \sqrt{i_d^2 + \left(\frac{2 \cdot M_{VDzd}}{3 \cdot p_p} \right)^2 \cdot \frac{1}{(\psi_{mag} + i_d \cdot (L_{1d} - L_{1q}))^2}}, \quad (3.3)$$

I_m – модуль вектора струму статора (повний струм по споживання ВД); M_{VDzd} – заданий електромагнітний момент, необхідний для підтримки необхідного тяговошвидкісного режиму автомобіля; $\beta_M \in [-1,1]$ – сигнал керування електромагнітним моментом ВД: $\beta_M = M_{VDzd}/M_{VDmax}$; M_{VDmax} – максимальний момент обертання ВД.

Функціональна схема системи керування тягового електропривода на основі ВД має вигляд, наведений на рисунку 3.2.

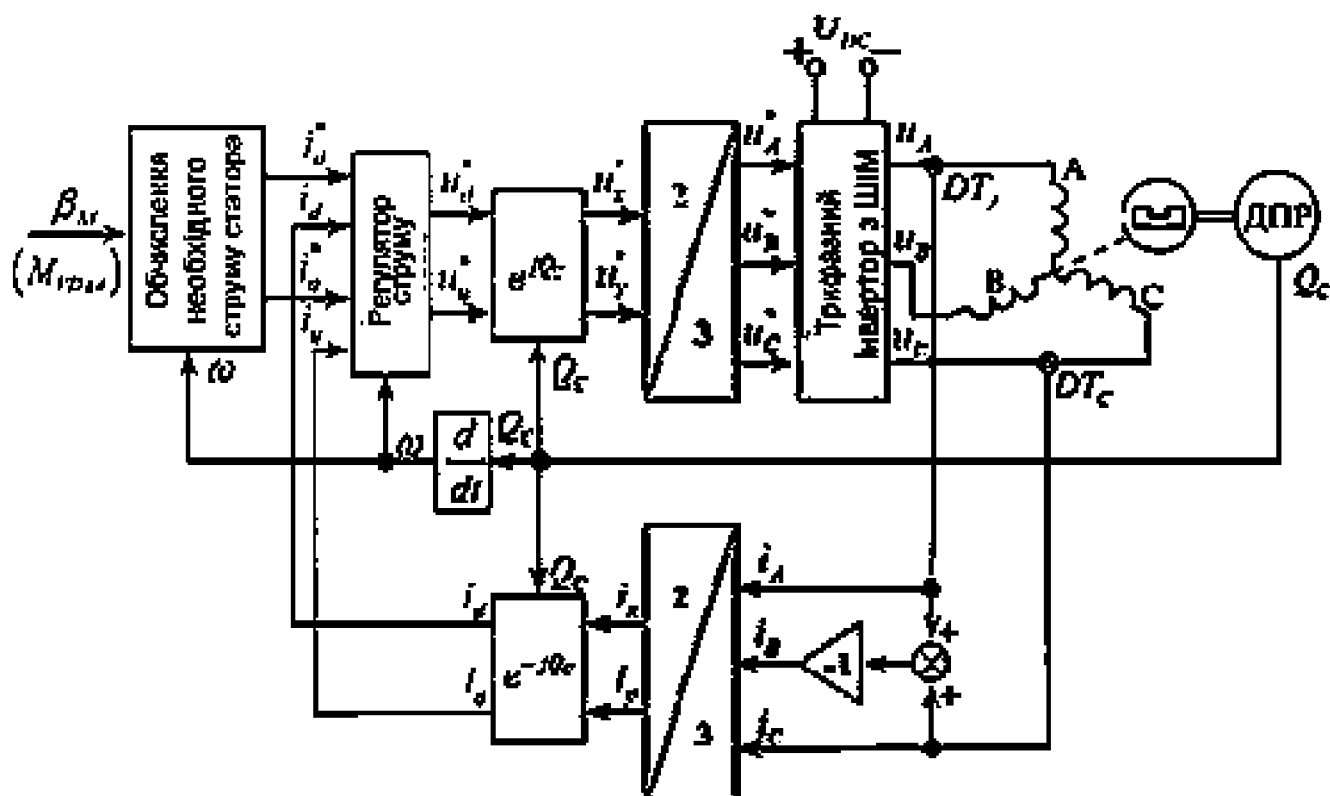


Рисунок 3.2 – Функціональна схема системи керування тягового електропривода

3.2 Математичний опис системи керування електропривода на базі вентильного двигуна

Очевидно, що оптимальне, відповідно до обраного критерію, співвідношення поздовжньої і поперечної складових струму може бути забезпечено тільки в тих зонах області допустимих режимів роботи ВД, де не використовується режим ослаблення поля:

$$\begin{cases} u_d^* = k_{pd} \cdot (i_d^* - i_d) + k_{id} \cdot \int_0^t (i_d^* - i_d) dt - \omega \cdot p_p \cdot \hat{L}_{1q} \cdot i_q - R_{ad} \cdot i_d \\ u_q^* = k_{pq} \cdot (i_q^* - i_q) + k_{iq} \cdot \int_0^t (i_q^* - i_q) dt - \omega \cdot p_p \cdot \hat{L}_{1d} \cdot i_d - R_{aq} \cdot i_q \end{cases}, \quad (3.4)$$

де $k_{pd} = a_c \cdot \hat{L}_{1d}$; $k_{pd} = a_c \cdot \hat{L}_{1q}$; $k_{id} = a_c \cdot (\hat{R}_1 + R_{ad})$; $k_{iq} = a_c \cdot (\hat{R}_1 + R_{aq})$; $R_{ad} = a_c \cdot \hat{L}_{1d} - \hat{R}_1$; $R_{aq} = a_c \cdot \hat{L}_{1q} - \hat{R}_1$; \hat{L}_{1d} , \hat{L}_{1q} , \hat{R}_1 – оцінки величин L_{1d} , L_{1q} , R_1 відповідно; a_c – параметр, визначальний необхідну ширину смуги пропускання замкнутій системи керування. Зазвичай $a_c \gg R_1/L_{1q}$.

В даному регуляторі перші дві складові виразів для поздовжнього і поперечного каналів є стандартним ПІ-регулятором. Треті складові даних виразів призначені для компенсації зв'язності струмової динаміки між поздовжнім і поперечним каналами моделі ВД. Останні, четверті, складові забезпечують активне демпфірування.

Перетворення одержуваних на виході регулятора струму сигналів завдання напруги з обертової системи координат (d, q) в нерухому (x, y) можна здійснити відповідно до виразів:

$$\begin{cases} u_x^* = u_d^* \cdot \cos Q_c - u_q^* \cdot \sin Q_c \\ u_y^* = u_d^* \cdot \sin Q_c + u_q^* \cdot \cos Q_c \end{cases}, \quad (3.5)$$

де Q_c – кут повороту ротора ВД.

Зворотне перетворення координат для складових струму статора, що надходять на вхід регулятора, виконується відповідно до виразів

$$\begin{cases} i_d = i_x \cdot \cos Q_c + u_q^* \cdot \sin Q_c \\ i_q = -i_x \cdot \sin Q_c + u_q^* \cdot \cos Q_c \end{cases} \quad (3.6)$$

Перетворення фаз 2/3 для сигналів завдання напруги здійснюється відповідно до виразів:

$$\begin{cases} u_A^* = u_x^* \\ u_B^* = -\frac{1}{2} \cdot u_x^* + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot u_y^* \\ u_C^* = -\frac{1}{2} \cdot u_x^* - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot u_y^* \end{cases} \quad (3.7)$$

Значення фазних струмів, отримані на підставі сигналів датчиків струму DT_A та DT_C можуть бути приведені до нерухомої системі координат, (x,y) з використанням виразів:

$$\begin{cases} i_x = i_A \\ i_y = \frac{i_B - i_C}{\sqrt{3}} \end{cases} \quad (3.8)$$

Інерційність трифазного інвертора з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) може бути охарактеризована чистим запізненням на величину її періоду T_{PWM} . Для спрощення завдання розглянемо інвертор як лінійний підсилювач потужності з коефіцієнтом посилення $k_u=1$ і сталої часу $T_u = T_{PWM}$:

$$\begin{bmatrix} u_A \\ u_B \\ u_C \end{bmatrix} = \frac{k_u}{p \cdot T_u + 1} \cdot \begin{bmatrix} u_A^* \\ u_B^* \\ u_C^* \end{bmatrix}, \quad (3.9)$$

де p – оператор диференціювання.

Використовуючи перетворення координат, можна отримати опис трифазного інвертора з ШІМ спочатку в нерухомій (x,y) , а потім і в пов'язаній з ротором обертовій системі координат (d,q) :

$$\begin{cases} (p \cdot T_u + 1) \cdot u_A = k_u \cdot u_A^* \\ (p \cdot T_u + 1) \cdot \frac{u_B - u_C}{\sqrt{3}} = k_u \cdot \frac{u_B^* - u_C^*}{\sqrt{3}} \end{cases} \quad (3.10)$$

$$\begin{cases} T_u \cdot \frac{du_x}{dt} + u_x = k_u \cdot u_x^* \\ T_u \cdot \frac{du_y}{dt} + u_y = k_u \cdot u_y^* \end{cases} \quad (3.11)$$

$$T_u \cdot \frac{d}{dt} \cdot (u_x + ju_y) + (u_x + ju_y) = k_u \cdot (u_x^* + ju_y^*), \quad (3.12)$$

$$T_u \cdot \frac{d}{dt} \cdot ((u_d + ju_q) \cdot e^{jq_c}) + (u_d + ju_q) \cdot e^{jq_c} = k_u \cdot (u_d^* + ju_q^*) \cdot e^{jq_c}, \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} T_u \cdot \frac{du_d}{dt} + jT_u \cdot u_d \cdot \omega_e + jT_u \cdot \frac{du_q}{dt} - T_u \cdot u_q \cdot \omega_e + u_d + ju_q = \\ = k_u \cdot u_d^* + jk_u \cdot u_q^* \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$\begin{cases} u_d = \frac{k_u}{T_u \cdot p + 1} \cdot u_d^* + \frac{T_u \cdot p_p \cdot \omega}{T_u \cdot p_p + 1} \cdot u_q \\ u_q = \frac{k_u}{T_u \cdot p + 1} \cdot u_q^* + \frac{T_u \cdot p_p \cdot \omega}{T_u \cdot p_p + 1} \cdot u_d \end{cases} \quad (3.15)$$

Останній вираз представляє собою математичний опис інвертора з ШІМ в обертовій системі координат (d, q) і відображає існуючий взаємовплив поздовжнього і поперечного каналів керування, які посилюються при збільшенні частоти обертання ротора ВД. Дані взаємовпливу можна розглядати як обурення, що діють на струмові контури. Для їх мінімізації необхідно зменшувати величину періоду ШІМ.

Елементи трансмісії автомобіля, які виступають навантаженням даного електропривода мають досить великий наведений момент інерції. Сталі часу процесу керування швидкістю обертання ротора ВД в складі силової установки автомобіля виявляються значно більше сталих часу ВД, регулятора струму і інвертора з ШІМ. Це дозволяє знехтувати динамічними властивостями тягового електропривода при дослідженні різних тягово-швидкісних режимів автомобільної установки. Структурну схему моделі тягового електропривода з ВД можна представити у вигляді, наведеному на рисунку 3.3.

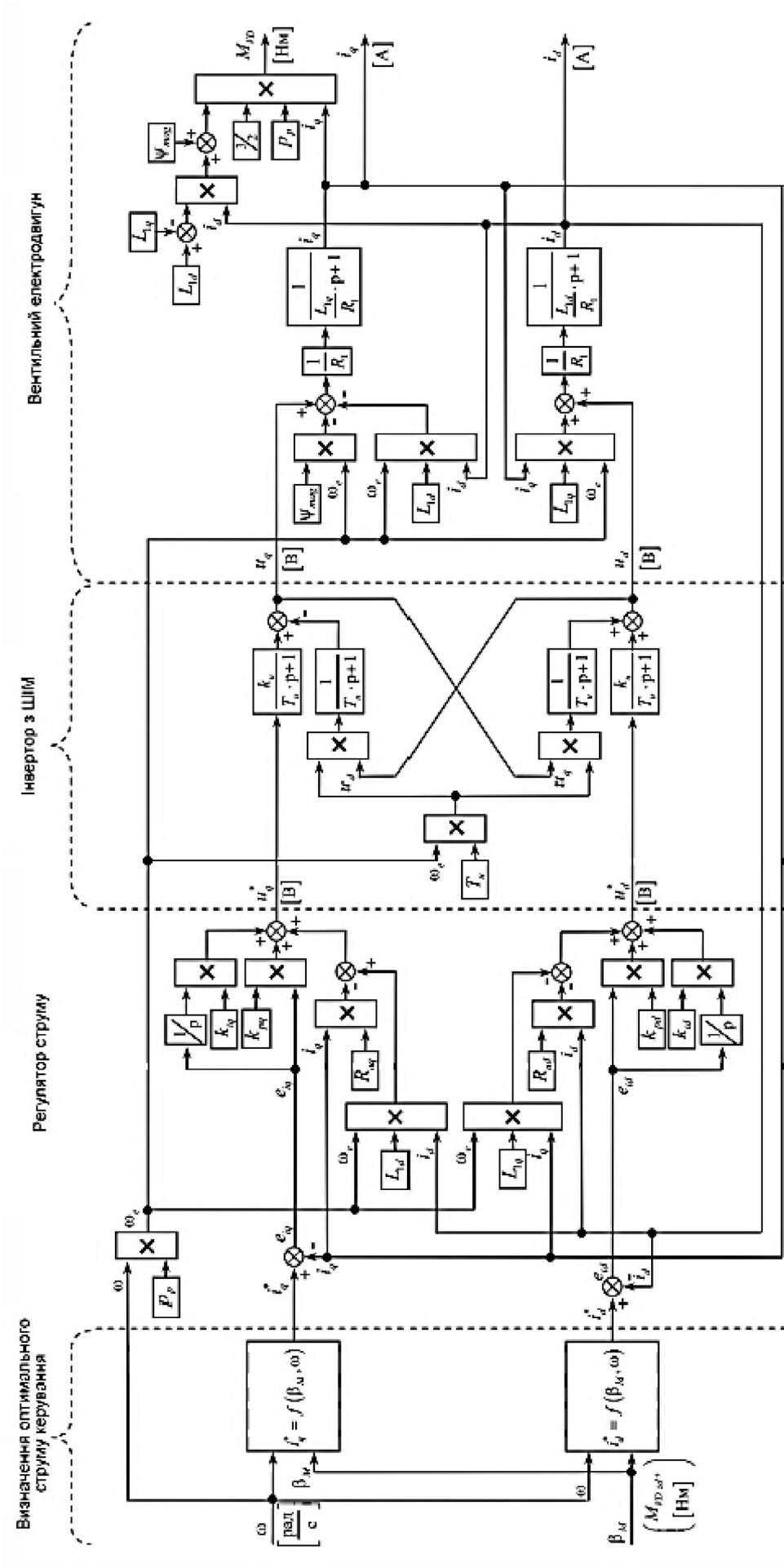


Рисунок 3.3 – Структурна схема тягового електропривода з вентильним двигуном

Один з можливих варіантів спрощеної структурної схеми тягового електропривода з ВД наведено на рисунку 3.4. Дана модель враховує лише статичні властивості ВД при оптимальному керуванні поздовжньою і поперечною складовими струму статора.

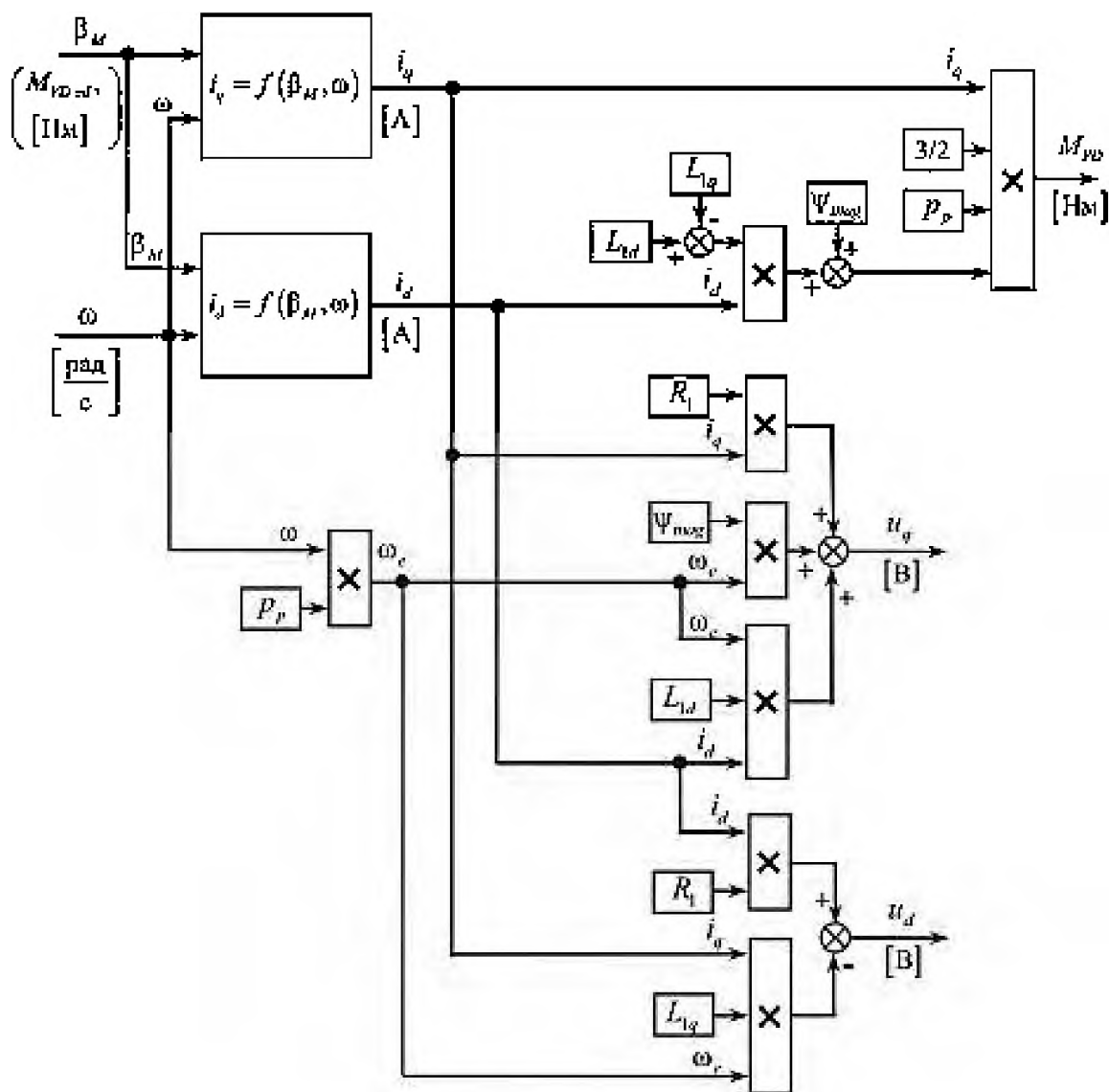


Рисунок 3.4 – Спрощена структурна схема статичної моделі тягового електропривода з вентильним двигуном

Для дослідження характеристик тягового електропривода в роботі використано модель трансмісії автомобіля [8], схему якої наведено на рисунку 3.5.

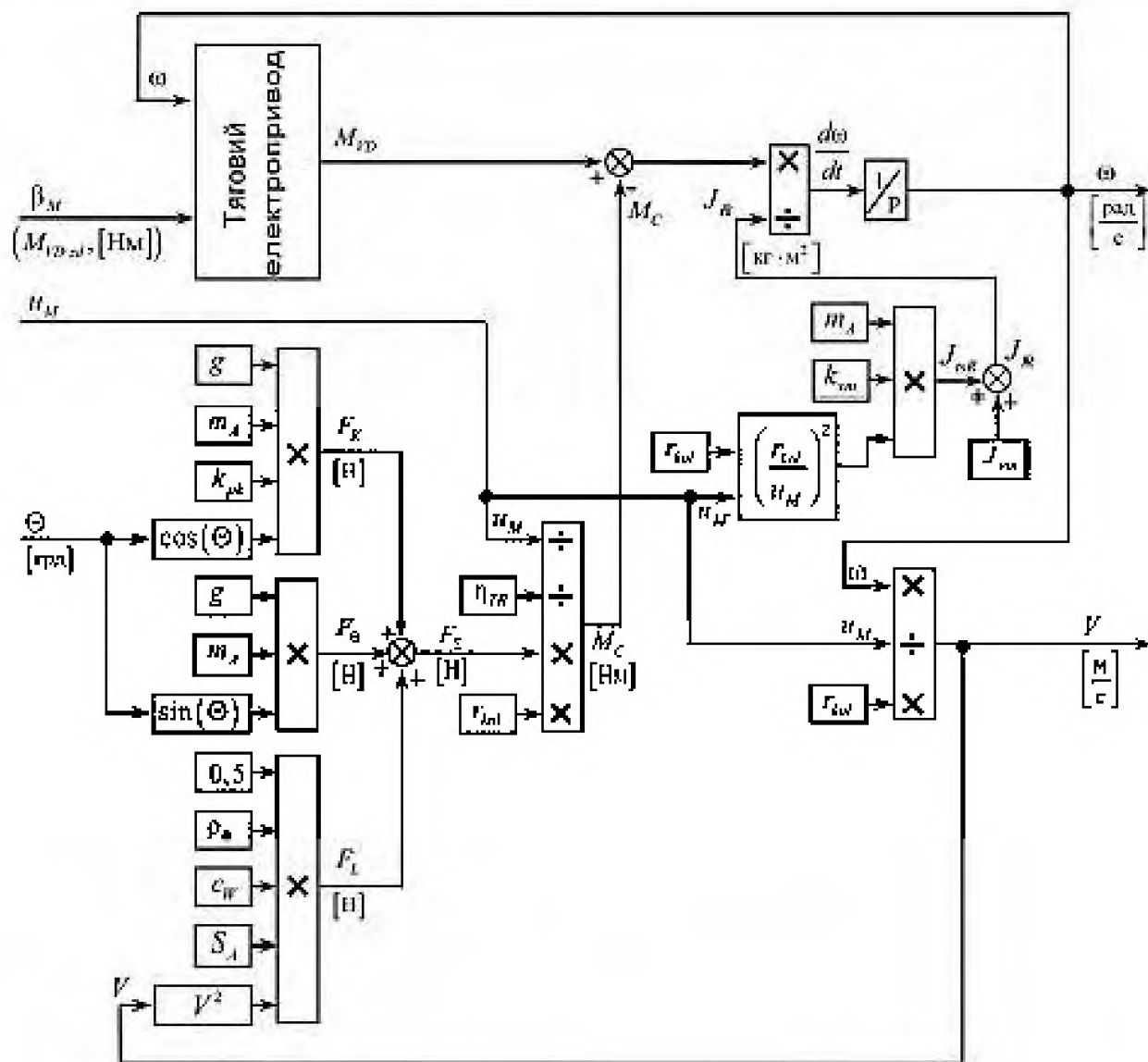


Рисунок 3.5 – Структурна схема моделі трансмісії автомобіля з тяговим електроприводом

3.3 Дослідження динаміки системи керування електропривода на базі вентильного двигуна

При дослідженні характеристик тягового електропривода використано модель трансмісії автомобіля, структурна схема якої наведено на рисунку 3.6. На схемі можна побачити головні складові електросистеми такі як мотор та генератор, а також основні структурні зв'язки між її елементами, вхідні і вихідні сигнали за швидкістю, струмом та моментом.

Параметри моделей вентильного електродвигуна і трансмісії автомобіля з тяговим електроприводом наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Момент інерції ротора вентильного електродвигуна	J_{em}	кг·м ²	0,0059
Максимально-допустима напруга	U_{max}	В	190
Передавальне відношення трансмісії від ротора ВД до ведучих коліс	u_M	-	7,605
Маса автомобіля	m_A	кг	1100
Радіус кочення ведучого колеса	r_{kol}	м	0,26
Коефіцієнт обліку обертових мас	k_{vm}	-	1,02
Коефіцієнт аеродинамічного опору	c_W	-	0,50
Площа найбільшого поперечного перетину автомобіля	S_A	м ²	2,0
Коефіцієнт опору перекочуванню	k_{pk}	-	0,013
ККД трансмісії	η_{TR}	-	0,92

Продовження табл. 3.1

Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Параметри вентильного двигуна	Ψ_{mag}	мВб	104
	L_{lq}	мГн	0,56
	L_{ld}	мГн	0,23
	R_l	МОм	7,9
	p_p	-	2
	I_{max}	А	226,3
Параметри регулятора струму	a_c	-	500
	k_{pq}	-	0,28
	k_{iq}	-	140
	k_{pd}	-	0,115
	k_{id}	-	57,5
	R_{ad}	-	0,1071
	R_{aq}	-	0,2721
Стала часу інвертора з ШІМ	T_u	мс	0,0625
Щільність повітря	ρ_0	кг/м ³	1,209
Прискорення вільного падіння	g	м/с ²	9,81
Період дискретизації по часу при моделюванні	T_d	с	0,001

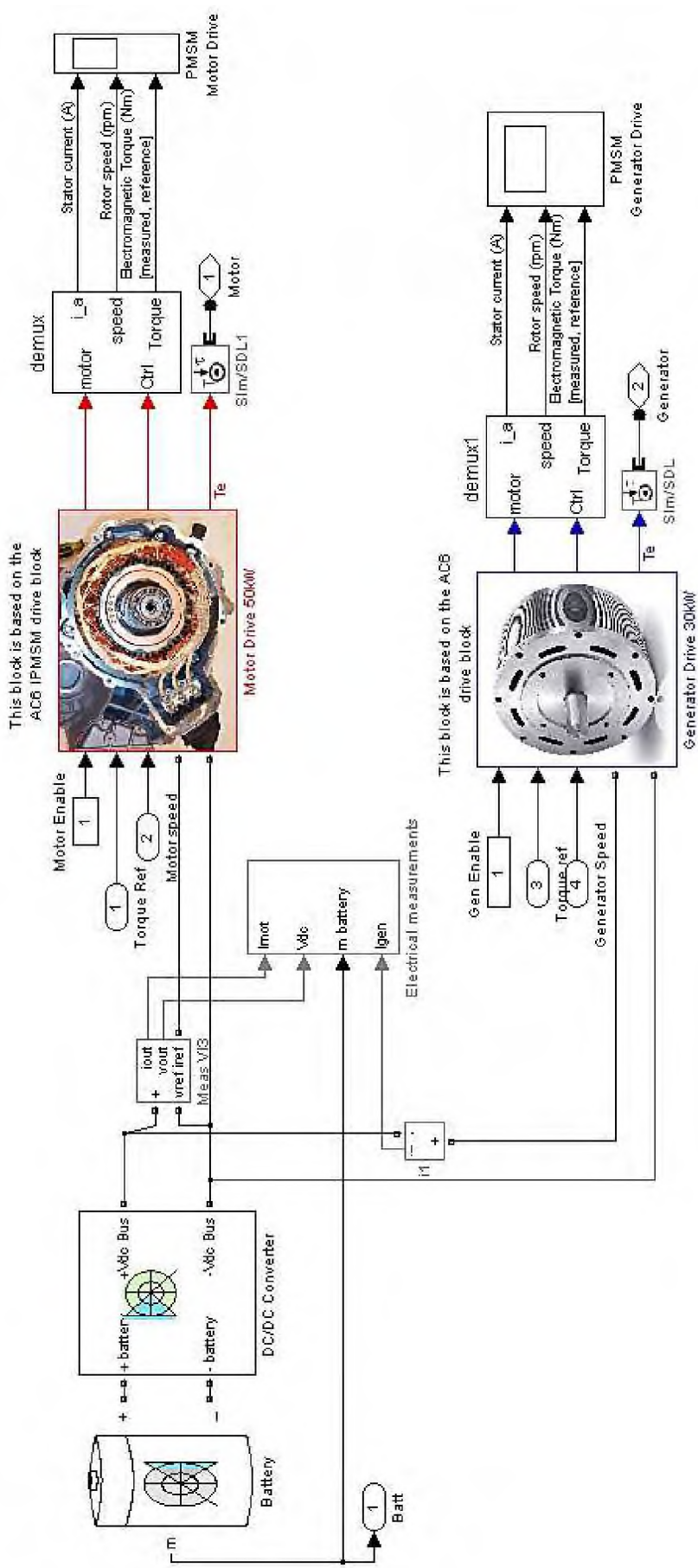


Рисунок 3.6 – Схема моделювання гібридного автомобіля у середовищі MATLAB

Реакція моделі трансмісії автомобіля з тяговим електроприводом на основі ВД на ступінчастий керуючий вплив при русі з незмінним передавальним відношенням трансмісії по дорозі без поздовжнього ухилу ($\Theta=0$) приведена на рисунку 3.7. В даному випадку використовувалася статична модель тягового електропривода. Швидкість обертання ротора ВД виражена в оборотах в хвилину: $n=30 \cdot \omega/\pi$, M_C – момент опору, приведений до валу ВД.

У тих зонах області допустимих режимів роботи ВД, де неможливо підтримувати оптимальне співвідношення поздовжньої і поперечної складових струмів, здійснюється їх перерозподіл таким чином, щоб загальний струм споживання не перевищував I_{\max} , а електромагнітний момент обертання був максимально наближений до заданого. Рисунок 3.8 ілюструє характер зміни струму і напруги статора ВД при даному тягово-швидкісному режимі. Потужність, споживану ВД, можна виділити як суму миттєвих потужностей фаз статора:

$$P_{ptr} = u_A \cdot i_A + u_B \cdot i_B + u_C \cdot i_C = \frac{2}{3} (u_d \cdot i_d + u_q \cdot i_q). \quad (3.16)$$

На рисунку 3.9 показано зміну потужності, споживаної ВД від мережі, при розгоні автомобіля або потужності, що віддається в мережу в результаті рекуперації кінетичної енергії гальмування.

У разі використання динамічної моделі тягового електропривода при заданих в таблиці параметрах моделі відповідні характеристики виявляються такими, що не відрізняються візуально від характеристик статичної моделі.

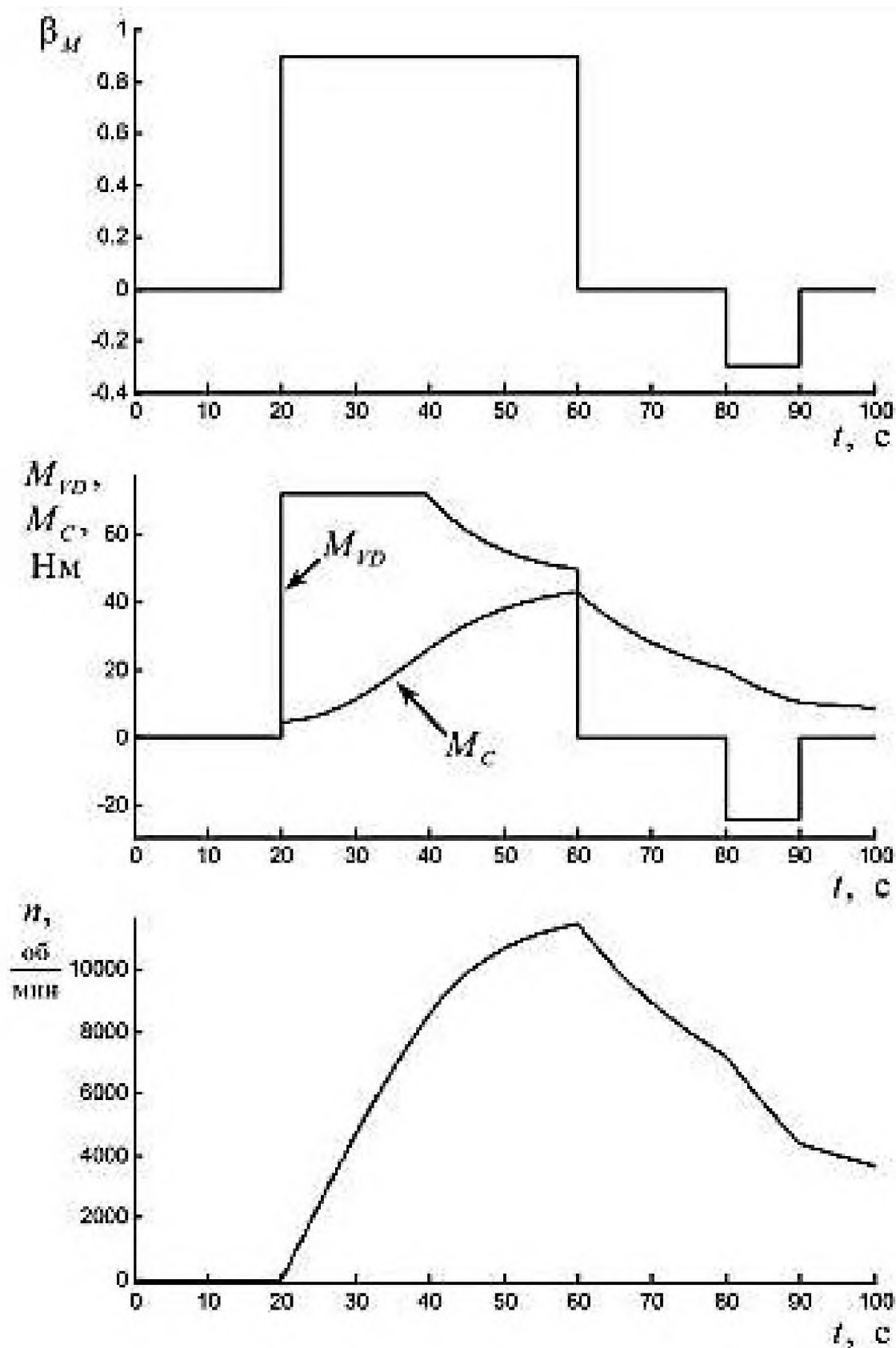


Рисунок 3.7 – Реакція тягового електропривода на ступінчастий керуючий вплив

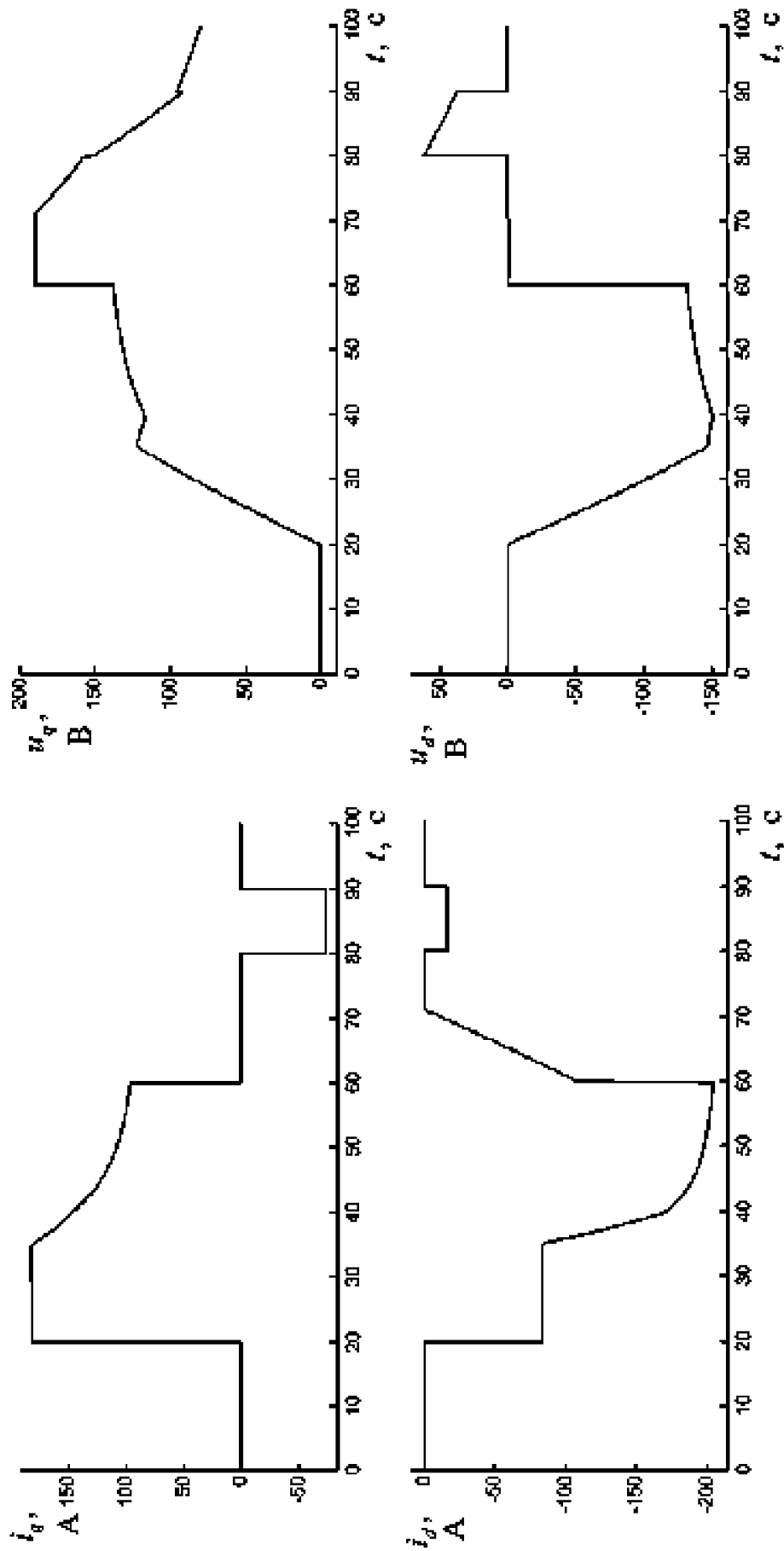


Рисунок 3.8 – Зміна поздовжніх і поперечних складових струму і напруги вентиляльного двигуна тягового електропривода при ступінчатій керуючій дії

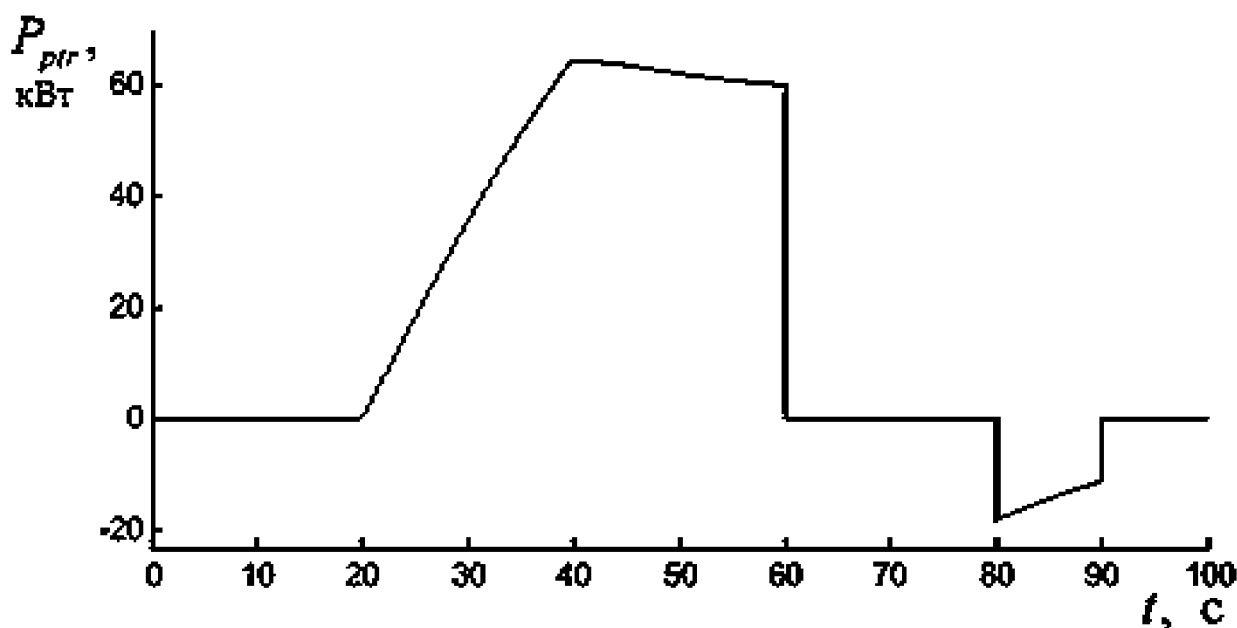


Рисунок 3.9 – Потужність електропривода,
що споживається або віддається в бортову мережу

3.4 Висновки до розділу 3

3.4.1 Побудовано функціональну схему системи керування тягового електропривода на базі вентиляного двигуна та наведено її математичний опис.

3.4.2 Розглянуто імітаційну модель тягового електропривода на основі синхронного двигуна зі збудженням від постійних магнітів, яка дозволяє моделювати різні режими руху автомобіля і проводити кількісну оцінку енергетичних параметрів роботи його елементів.

3.4.3 Проведено дослідження динаміки системи керування електропривода та підтверджено доцільність використання статичної моделі ВД в процесі синтезу оптимального керування силовою установкою автомобіля з тяговим електроприводом, а також вибору й обґрунтування її базових параметрів и характеристик.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів

Під умовами праці розуміється сукупність факторів трудового процесу та виробничого середовища, в якій реалізується діяльність людини, що впливають на здоров'я і працездатність.

Під факторами трудового процесу маються на увазі основні його характеристики: важкість праці та напруженість праці. Важкість праці – характеристика трудового процесу, що відображає переважаючу навантаження на опорно-руховий апарат і функціональні системи організму (серцево-судинну, дихальну та інші, що забезпечують його діяльність). Напруженість праці – характеристика трудового процесу, що відображає навантаження переважно на центральну нервову систему, органи чуття, емоційну сферу працівника.

Під виробничою середовищем мається на увазі сукупність фізичних, хімічних, біологічних, психофізіологічних факторів на виробництві, впливають на людину. Всі ці фактори класифікуються як небезпечні та шкідливі.

Небезпечні виробничі фактори – ті, вплив яких на працівника призводить до травм, різкого погіршення здоров'я або до смерті.

Шкідливі виробничі фактори – ті, вплив яких на працівника може призвести до захворювання та зниження працездатності.

До фізичних небезпечних і шкідливих факторів відносяться:

- рухливі машини і механізми, рухомі частини виробничого обладнання, пересуваються вироби (матеріали, заготовки);
- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- підвищена або знижена температура поверхонь обладнання, матеріалів, повітря робочої зони;
- підвищені рівні шуму, вібрації, ультразвуку, інфразвукових коливань;
- підвищений або знижений барометричний тиск і його різкі зміни;
- підвищена або знижена вологість, рухомість, іонізація повітря;

- підвищений рівень іонізуючих випромінювань, напруги в електромережі, статичної електрики, електромагнітних випромінювань, напруженості електричного і магнітного полів;
- відсутність або нестача природного світла, знижена контрастність, пряме і відбите блискотіння, підвищена пульсація світлового потоку;
- підвищені рівні ультрафіолетової та інфрачервоної радіації;
- гострі краї, шорсткість, задирки на поверхні заготовок, інструментів та обладнання;
- розташування робочого місця на значній висоті відносно землі (підлоги);
- невагомість.

До хімічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів належать хімічні речовини, які за характером дії на організм людини поділяються на токсичні, дратівливі, сенсibiliзуючі, канцерогенні та мутагенні. Ці хімічні речовини впливають на репродуктивну функцію людини. За шляхами проникнення в організм людини вони поділяються на проникаючі через органи дихання, шлунково-кишковий тракт, шкірний покрив і слизові оболонки.

До біологічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів належать патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, рикетсії, спірохети, грибки, найпростіші) та продукти їх життєдіяльності, а також макроорганізми (рослини і тварини).

До психофізіологічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів відносяться фізичні (статичні і динамічні) і нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження).

Для того, щоб об'єктивно проаналізувати відповідність умов праці діючим нормативно-правовим актам, необхідно здійснити санітарно-гігієнічну характеристику умов праці планово-економічного відділу, атестацію робочого місця за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу.

Діючими факторами виробничого середовища, рівні яких перевищують нормативні значення на робочих місцях водіїв автомобілів, є: шум, інфразвук, загальна вібрація, параметри мікроклімату, важкість і напруженість праці.

Концентрації хімічних речовин (оксиду вуглецю, оксидів азоту, бензину, пилу тощо) у салоні автомобіля зазвичай не перевищують нормативних значень, проте вони наявні та, як правило, надходять ззовні.

Рівні загальної вібрації на сидінні водія найчастіше перевищують нормативні значення по осіб, що пов'язано, перш за все, з якістю дорожнього покриття. Важкість праці водія зумовлена вимушеною позою протягом усього періоду керування автомобілем. Для певних категорій водіїв (наприклад, при сумісництві роботи водія, експедитора та вантажника) важкість праці зростає внаслідок вантажно-розвантажувальних робіт (нахили, перенесення вантажів).

Напруженість праці водія викликана великою кількістю сигналів в одиницю часу і високим рівнем нервово-емоційної напруги. Так, кількість сигналів коливається від 300 до 450 на годину. Високий рівень нервово-емоційної напруги обумовлений особистим ризиком, відповідальністю за безпеку інших учасників руху, іноді жорсткою регламентацією руху в часі (водії таксі, маршрутних авто тощо).

Умови праці на робочих місцях водіїв автотранспортних засобів найчастіше відповідають III класу 2 ступеня оцінюються як шкідливі, важкі та напружені.

Кількість факторів виробничого середовища, фактичні значення яких перевищують нормативні значення на робочому місці водія, як правило, не менше трьох.

У зв'язку з неможливістю усунути такі фактори виробничого середовища як важкість праці (робоча поза) та напруженість трудового процесу особливе значення має профілактика несприятливого впливу цих факторів.

Важливе значення для ефективності профілактики має підвищення медико-гігієнічних знань серед водіїв для формування пріоритетного ставлення до здоров'я, мінімізації факторів ризику розвитку патології серцево-судинної системи, формування поняття «культура праці».

Емоційно напружена праця водія у несприятливих умовах призводить до перевтоми, погіршення стану здоров'я, що спричиняє збільшення частоти загальносоматичних захворювань, тривалості кожного випадку захворювання, переходу гострих випадків у хронічні форми.

За даними медичних оглядів встановлено, що частота патології серед водіїв сягає 70%. Кожен водій зі стажем роботи за професією понад 10 років може мати 2-3 хронічних захворювання. Найчастіше це захворювання органів травлення, нервової, серцево-судинної, кістково-м'язової систем.

Патологію органів травлення має майже половина водіїв. Найпоширенішими є хронічні форми гастриту та холециститу, на виразкову хворобу шлунка і дванадцятипалої кишки страждають 10% водіїв. Ці захворювання пов'язані з незбалансованістю та неправильним режимом живлення, нервовим перенапруженням, відсутністю адекватного лікування за наявності патогенної мікрофлори, наприклад *Helicobacter pilori*, що викликає гастрит, виразку шлунка, виразку дванадцятипалої кишки, рак (аденокарциному) шлунка.

Дослідження поширеності патології серцево-судинної системи серед професійних водіїв виявили, що третина водіїв мають такі захворювання. На першому місці стоїть артеріальна гіпертонія (25%), середній вік початку якої складає 41 рік.

Серед водіїв не поодинокі випадки гострої патології серцево-судинної системи: інфаркт міокарда у молодому віці, випадки раптової смерті за кермом тощо. Вегетосудинна дистонія поширена серед водіїв зі стажем роботи за професією до 10 років.

До факторів ризику розвитку серцево-судинних захворювань у водіїв відносяться: нервово-емоційне напруження, гіподинамія, надлишкова маса тіла, підвищений артеріальний тиск, куріння, незбалансований режим живлення, вживання алкоголю (понад 80% осіб вживають алкоголь понад 3 л на місяць).

Половина водіїв мають захворювання нервової системи, а саме радикуліти і радикулопатії різної локалізації. Найпоширенішою є радикулопатія попереково-крижового відділу хребта. Епідеміологічними дослідженнями встановлено пряму

залежність частоти виникнення патології у водіїв від тривалості професійного стажу.

Так, попереково-крижова радикулопатія вражає не більше 7 % водіїв зі стажем роботи до 5 років, а зі стажем роботи 35 років і більше – майже половину. Показники свідчать про негативну дію несприятливих умов праці, а саме: фіксованої, нераціональної робочої пози з нерівномірним навантаженням на різні ділянки хребта; впливу загальної вібрації, що передається на хребет через сидіння; несприятливого мікроклімату, зумовленого перепадом температури по вертикалі у холодний період року, підвищеною температурою у теплий період і підвищеною швидкістю руху повітря у кабіні автомобіля протягом усього року (за відсутності у транспортному засобі системи «клімат-контроль»).

Водії підлягають медоглядам при прийнятті на роботу, а також у процесі трудової діяльності згідно з Положенням про медичний огляд кандидатів у водії та водіїв транспортних засобів, затвердженим наказом МОЗ України, МВС України від 31.01.2013 № 65/80. Медичний огляд є заходом, спрямованим на профілактику професійних, виробничо-обумовлених захворювань працівників, а також таких загальних захворювань, які можуть прогресувати через вплив шкідливих факторів виробничого середовища.

Задля профілактики професійно обумовлених захворювань водії у вільний від роботи час можуть займатися спортом, зокрема, плаванням, велоспортом, гімнастикою, йогою, що поліпшує кровообіг, зміцнює серцево-судинну і нервову системи. Гімнастика передбачає згинання, розгинання і кругові рухи у поперековому відділі хребта: такі вправи сприяють нормальній циркуляції крові в малому тазу.

Корисно гуляти пішки на свіжому повітрі, можна також приймати контрастний душ – температурні перепади активізують кровообіг, стимулюють імунну та нервову системи

4.2 Техніка безпеки

Техніка безпеки – це система організаційних і технічних засобів, які запобігають дії на працівників небезпечних виробничих чинників. У небезпечних зонах постійно діють або періодично виникають чинники, небезпечні для життя і здоров'я людини.

Постійно діють небезпечні виробничі чинники, зумовлені наявністю в машинах, механізмах і устаткуванні, що працюють, рухомих частин, що передають пристроїв (зубчатих, ланцюгових, пасових), відкритих струмопровідних частин, джерел випромінювання і високої температури, підвищеного тиску.

Періодично виникають небезпечні виробничі чинники під час виконання деяких операцій, наприклад, у разі переміщення вантажів, завантаження та розвантаження технологічних апаратів.

Стан умов праці, за якого виключена дія на працівників небезпечних і шкідливих виробничих чинників, називають безпекою праці. Безпека праці визначається

- конструкцією використовуваних машин, механізмів і устаткування;
- особливістю виконуваних технологічних процесів.

В разі короткого замикання і спалаху вогню в кабіні або пасажирському салоні водій трамвая повинен негайно зупинити трамвай, загальмувати його стоянковим гальмом, вимкнути електрообладнання, поставити реверсор в «нульове» положення, зняти знімну ручку контролера, вжити заходів до висадки пасажирів, попередивши їх про дотримання обережності при виході, відтягнути струмоприймачі від контактного проводу та приступити до ліквідації вогню наявними вуглекислотними або порошковими вогнегасниками.

Технічне обслуговування й ремонт автомобілів виконують у призначених для цього місцях (на постах). На робочих місцях мають забезпечуватися безпечні умови для проведення робіт; обладнання, інструмент та прилади мають відповідати характеру виконуваної роботи й унеможливити травматизм.

Перед початком робіт з ремонту і технічного обслуговування автомобілів, робітник повинен переодягнути робочу форму одягу. Причому рукава повинні бути застебнуті, на голову одягнений головний убір. На ноги одягнені черевики, щоб уникнути нанесення травми при падінні інструменту або деталей. Одяг зберігається в спеціальній шафі. Входити в цьому одязі в громадські місця та житлові приміщення забороняється.

Перед початком роботи під автомобілем, встановленому на посту технічного обслуговування, на видному місці винести табличку з написом «Двигун не пускати, працюють люди». Під колеса встановити упори, а автомобіль встановити на нижчу передачу. Необхідно перевірити немає витоків масла, палива, електроліту і охолоджуючої рідини.

За будь-яких роботах з технічного обслуговування і ремонту автомобілів-самоскидів з піднятим кузовом необхідно ставити упори, що оберігають кузов від самовільного опускання. Працювати не виконавши цієї вимоги категорично забороняється.

Під час роботи не класти інструмент і деталі на раму, підніжки та інші частини автомобіля, звідки вони можуть впасти на працюючого. Перебуваючи під автомобілем, не курити і не запалювати і не користуватися відкритим вогню.

Шиномонтажні роботи необхідно виконувати тільки у встановлених місцях, суворо дотримуватися правил техніки безпеки. Накачувати змонтовану шину повітрям обов'язково в огороженні, предохраняющем від забитого місця при зриві замкового кільця.

Гальмівну систему перевіряти на спеціально відведеній площадці.

При роботі з бензином і охолоджувальною рідиною необхідно пам'ятати, що бензин – це вогненебезпечна речовина. Особливу обережність слід дотримуватися з тарою, так як при зіткненні з відкритим вогнем, наявні в тарі пари бензину запалюються й викликають вибух. Що міститься тетраетил свинець в бензині є сильним отрутою. У разі потрапляння етилованого бензину на шкіру необхідно це місце промити спочатку гасом, а потім теплою водою з милом.

Пролиті на підлогу паливо, масло та інші паливно – мастильні матеріали необхідно відразу прибрати на випадок виникнення пожежі, засипають піском або тирсою після чого його видаляють.

Робоче місце слюсаря з ремонту автомобілів має бути достатньо освітлене. Але освітлення має бути розташоване таким чином, щоб не засліплювало робітника.

Забороняється нарощувати ключі трубами та іншими підручними засобами. При складальних роботах забороняється перевіряти збіги отворів пальцем, для цього не обходимо використовувати спеціальні борідки, ломики або монтажні гачки. Необхідно при ремонтних роботах користуватися тільки справним інструментом. Забороняється використовувати молотки з тріщинами на рукоятках, зубила зі сколами і т.д.

Під час розбирання та складання вузлів, агрегатів слід застосовувати спеціальні ключі і знімачі. Важко відвертаються гайки потрібно спочатку змочити гасом а потім відвернути ключем.

Також необхідно дотримуватися правил пожежної безпеки. Обтиральні матеріали слід прибрати у спеціально відведений металевий ящик, з щільно закривається кришкою, а по закінченню роботи виносити у відведені місця для сміття. Приміщення повинно мати вентиляцію загальну вентиляцію.

4.2.1 Пожежна безпека. У приміщеннях для стоянки, ремонту і технічного обслуговування автомобілів повинні бути встановлені вогнегасники згідно встановлених норм. У приміщенні повинні обладнуватися пожежними щитами на якому знаходиться відро, багор, сокира. Крім того, повинні бути передбачені ящики з сухим піском, у кожного ящика повинна знаходитися лопата. При виникненні пожежі необхідно повідомити про це за телефоном 101 і приступити до гасіння пожежі.

Технічне обслуговування й ремонт приладів системи живлення, знятих з автомобіля, виконують у цеху (на дільниці). Біля ванни , для миття деталей системи живлення, біля верстаків для розбирання-складання, перевірки й регулювання приладів, а також біля токарного верстата мають бути вентиляційні відс-

мокування забороняється проводити ремонт автомобілів з двигуном, який працює. При ремонті карбюраторних двигунів вимикається запалювання, дизельних – паливоподача.

При обслуговуванні та ремонті автомобілів, зв'язаних із зняттям паливних баків, а також ремонтом паливопроводів, через які може витікати пальне з баків, баки слід повністю звільнити від пального.

Зливати пальне слід у місцях, де неможливо його займання. Зберігати злите пальне на постах обслуговування та ремонту забороняється.

Зливати відпрацьовані оливи потрібно до металевих бочок або ємностей на окремих майданчиках.

Забороняється виконувати виробничі операції на обладнанні з несправностями, які можуть призвести до пожеж, а також при відключенні контрольно-вимірювальних приладів, за якими визначаються задані режими температур, тиску, концентрації горючих газів, пари та інші технічні параметри.

Для зберігання мастильних, лакофарбових, горючих і легкозаймистих матеріалів слід передбачати окремі, спеціально обладнані приміщення.

Використані обтиральні матеріали (промаслене клоччя, ганчір'я тощо) слід негайно прибирати до металевих ящиків із щільними кришками, а по закінченню робочого дня виносити з виробничих приміщень у спеціально відведені місця.

Регулювати системи живлення, запалювання, прилади газової системи живлення газобалонних автомобілів, а також ремонтувати та перевіряти газову апаратуру на герметичність дозволяється тільки в добре провітрюваному приміщенні при ввімкненій вентиляції або на відкритому майданчику.

Перед перевіркою (регулюванням) приладів електрообладнання на газобалонному автомобілі слід щільно закрити всі вентиля, перевірити герметичність газової системи живлення та старанно провітрити підкапотний простір.

При проведенні на газобалонному автомобілі ремонту, зв'язаного з виконанням зварювальних або фарбувальних робіт (включаючи штучне сушіння), газ із балонів потрібно випустити або злити на посту зливання газу, а балони слід дегазувати інертним газом.

Забороняється підтягувати різьбові з'єднання та знімати з автомобіля деталі газової апаратури та газопроводи під тиском.

Перед ремонтом автомобілів потрібно робоче місце для вогневих робіт очистити від горючих матеріалів, а горючі конструкції на відстані менше 5 м надійно захистити металевими екранами від займання.

Паяльні лампи слід тримати справними і не рідше одного разу на місяць перевіряти на міцність і герметичність із занесенням результатів і дати перевірки до спеціального журналу. Крім того, не рідше одного разу на рік слід проводити контрольні гідравлічні випробування тиском.

Лампи забезпечуються пружинними запобіжними клапанами, відрегульованими на заданий тиск, а лампи місткістю 3 л і більше – манометрами.

Заправляти паяльні лампи пальним і розпалювати їх слід у спеціально відведених для цього місцях. При заправці не допускати розливання пального та застосування відкритого вогню.

При зварюванні, газорізанні і паянні забороняється ставати до роботи при несправній апаратурі.

Заряджати акумуляторні батареї слід у приміщеннях, ізольованих від інших протипожежними стінками (перешкодами) з входом через тамбур-шлюзи. Виконувати інші роботи в цих приміщеннях забороняється.

Зарядні приміщення слід обладнати припливно-витяжною вентиляцією у вибухобезпечному виконанні.

Робота акумуляторного цеху при несправній припливно-витяжній вентиляції забороняється. У приміщенні заряджання акумуляторних батарей слід передбачити механізм припинення процесу заряджання при вимкненні вентиляції.

Для освітлення приміщення зарядки слід застосовувати лампи розжарювання у вибухозахисному виконанні.

Електромережу для освітлення слід виконувати в захисній кислототривкій чи луготривкій оболонці.

Електродвигуни, випрямлювачі, запобіжники, вимикачі, розетки слід встановлювати в приміщенні, ізольованому від приміщень зарядки акумуляторних батарей.

Акумуляторні батареї, встановлені для зарядки, з'єднують між собою тісно прилеглими пружинами або затискачами для кислотних батарей чи плоскими наконечниками для лужних батарей, які мають надійний електричний контакт для запобігання іскроутворенню.

Підключення та відключення акумуляторних батарей на зарядження слід проводити тільки при вимкненому зарядному пристрої.

Зарядження акумуляторних батарей слід проводити при відкритих пробках.

Для нагляду за акумуляторними батареями використовуються переносні лампи у вибухозахисному виконанні.

При ремонті шин роботи з приготування та нанесення гумового клею на склеювані поверхні слід проводити в ізольованому приміщенні з негорючими огорожувальними конструкціями біля зовнішньої стіни.

У приміщенні, де шини промащуються гумовим клеєм, забороняється вести роботи з вогнем або такі, що дають іскри.

Інструмент для приготування та нанесення клею має бути виконаний з матеріалу, який унеможливорює іскроутворення.

Робочі столи слід обшити гладкими листами з кольорового металу, заземлити й обладнати місцевою вентиляцією.

У виробничих приміщеннях допускається зберігання бензину та клею в кількостях не більше змінної потреби. Тримати їх слід в закритому посуді, відкриваючи його за потребою.

Забороняється зберігати бензин, клей та інші легкозаймісті та горючі матеріали поблизу вулканізаційних установок.

Електрообладнання установок шиноремонту та арматура електричних світильників повинні бути у вибухозахищеному виконанні та заземлені; приміщення слід обладнати припливно-витяжною вентиляцією.

4.2.2 Протипожежна безпека. Пожежна безпека повинна забезпечуватися шляхом проведення організаційних, технічних та інших заходів, спрямованих на попередження пожеж, забезпечення безпеки людей, зниження можливих майнових втрат і зменшення негативних екологічних наслідків у разі їх виникнення, створення умов для швидкого виклику пожежних підрозділів та успішного гасіння пожеж.

Забезпечення пожежної безпеки є складовою частиною виробничої або іншої діяльності посадових осіб, працівників підприємств та підприємців. Це повинно бути відображено у трудових договорах (контрактах) та статутах підприємств.

Керівник підприємства повинен визначити обов'язки посадових осіб (у тому числі заступників керівника) щодо забезпечення пожежної безпеки, призначити відповідальних за пожежну безпеку окремих будівель, споруд, приміщень, ділянок тощо, технологічного та інженерного устаткування, а також за утримання і експлуатацію технічних засобів протипожежного захисту. Обов'язки щодо забезпечення пожежної безпеки, утримання та експлуатації засобів протипожежного захисту мають бути відображені у відповідних посадових документах (функціональних обов'язках, інструкціях, положеннях тощо).

На кожному підприємстві з урахуванням його пожежної небезпеки наказом (інструкцією) повинен бути встановлений відповідний протипожежний режим, у тому числі визначені:

- можливість паління (місце для куріння), застосування відкритого вогню, побутових нагрівальних приладів;
- порядок проведення тимчасових пожежонебезпечних робіт (у тому числі зварювальних);
- правила проїзду та стоянки транспортних засобів;
- місця для зберігання і допустима кількість сировини, напівфабрикатів та готової продукції, які можуть одночасно знаходитися у виробничих приміщеннях і на території (у місцях зберігання);

- порядок прибирання горючого пилю й відходів, зберігання промасленого спецодягу та ганчір'я, очищення повітроводів вентиляційних систем від горючих відкладень;

- порядок відключення від мережі електрообладнання у разі пожежі;
- порядок огляду й зачинення приміщень після закінчення роботи;
- порядок проходження посадовими особами навчання й перевірки знань з питань пожежної безпеки, а також проведення з працівниками протипожежних інструктажів та занять з пожежно-технічного мінімуму з призначенням відповідальних за їх проведення;

- порядок організації експлуатації і обслуговування наявних технічних засобів протипожежного захисту (протипожежного водопроводу, насосних станцій, установок пожежної сигналізації, автоматичного пожежогасіння, димовидалення, вогнегасників тощо);

- порядок проведення планово-попереджувальних ремонтів та оглядів електроустановок, опалювального, вентиляційного, технологічного та іншого інженерного обладнання.

4.2.3 Дії працівників у разі виявлення пожежі. У разі виявлення пожежі (ознак горіння) кожний громадянин зобов'язаний:

- негайно повідомити про це телефоном пожежну охорону. При цьому необхідно назвати адресу об'єкта, вказати кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, обстановку на пожежі, наявність людей, а також повідомити своє прізвище;

- вжити (за можливістю) заходів до евакуації людей, гасіння (локалізації) пожежі та збереження матеріальних цінностей;

- якщо пожежа виникла на підприємстві, повідомити про неї керівника чи відповідну компетентну посадову особу та (або) чергового на об'єкті;

- у разі необхідності викликати інші аварійно-рятувальні служби (медичну, газорятувальну тощо).

– порядок збирання членів добровільної пожежної дружини та відповідальних посадових осіб у разі виникнення пожежі, виклику вночі, у вихідні й святкові дні.

Працівники підприємства мають бути ознайомлені з цими вимогами на інструктажах, під час проходження пожежно-технічного мінімуму тощо, витяги з наказу (інструкції) з основними положеннями слід вивішувати на видних місцях.

4.2.4 Електробезпека. Широке застосування електрики на транспорті створює потенціальну загрозу ураження електричним струмом у разі безпосереднього стикання з оголеним проводом замкненого електричного кола. Ураження можливе також через ґрунт, на якому лежать оголені проводи, й на відстані — через провідники високої напруги за механізмом вольтової дуги. Може бути уражена й та особа, яка надає допомогу, якщо торкатиметься потерпілого незахищеними руками.

Електричний струм уражує всі відділи організму, спричинюючи механічні ушкодження, опіки, іонізацію тканин та інші патологічні зміни. Потерпілий, як правило, не може відірватися від проводу через сильне скорочення м'язів кінцівок. При цьому можливі додаткові травми (забите місце, опік тощо).

Щоб запобігти ураженню електричним струмом, використовують засоби колективного й індивідуального захисту, а також засоби додаткового захисту.

До засобів колективного захисту належать:

- захисне вимикання аварійної мережі в цілому або її ділянки;
- захисне заземлення, занулення електрообладнання;
- застережні, заборонні, наказові, вказівні переносні щити;
- ізолювальні прокладки, тимчасові переносні заземлення;
- спеціальні знаки безпеки, сигналізація, блокування.

До спеціальних засобів індивідуального захисту належать:

- діелектричні рукавички, боти, галоші, килимки, ізолювальні підставки;
- переносні безпечні світильники напругою 12...48 В, знижувальні трансформатори напругою 220/12 або 220/42 В, захисне заземлення.

До засобів додаткового захисту належать:

- діелектричні доріжки;
- захисні окуляри;
- спеціальні рукавички з важкозаймистої тканини;
- захисні пристрої тощо.

Крім того, на працюючих накопичуються заряди статичної електрики, особливо в разі користування одягом із штучного волокна, вовни, взуттям із підшвами, що не проводять електричного струму, а також під час виконання ручних робіт із речовинами діелектриками й шліфувальною шкуркою.

Найпростіший і найнадійніший спосіб захисту від статичної електрики – заземлення технологічного обладнання, трубопроводів тощо. Необхідно передбачати також струмопровідні підлоги, антистатичні рукавички.

Перед початком роботи з ручним електроінструментом слід пересвідчишся в тому, що він справний і є захисне заземлення.

Для роботи з інструментом під напругою 127...220 В треба надіти захисні окуляри, гумові рукавиці, галоші й користуватися гумовим килимком або сухим дерев'яним стелажем.

Залишаючи робоче місце навіть ненадовго, слід вимкнути електроінструмент.

У разі виявлення будь якої несправності електроінструменту, заземлювального пристрою або штепсельної розетки треба негайно припинити роботу.

У приміщеннях без підвищеної й особливої небезпеки використовуються світильники напругою 42 В. у приміщеннях з особливою и підвищеною небезпекою, в тісноті, в незручному положенні працюючого застосовуються переносні світильники місцевого освітлення напругою 12 В.

4.2.5 Безпека руху. При прийомі зміни і під час підготовки автомобіля до виїзду перевірити:

- технічний стан (справність і комплектність автомобіля), звертаючи особливу увагу на;
- стан шин (затягання гайок, тиск, наявність в шинах сторонніх предметів);

- стан гальмівної системи, справність аварійного і стоянкового гальма;
- роботу системи рульового керування;
- роботу приладів світлової і звукової сигналізації, правильну установку дзеркал заднього виду;
- чистоту і видимість номерних, опізнавальних знаків, габаритних ліхтарів, фар;
- відсутність підтікань палива, масла, води;
- справність підніжок, площадок та перильних огорож, поручнів і їх чистоту;
- справність автомобіля підтвердити своїм підписом в шляховому листі;
- наявність і справність інструменту, засобів пожежогасіння;
- заправку автомобіля;
- наявність медаптечки і клинів-упорів;
- перед виїздом з цеху на лінію на контрольно-технічному пункті необхідно одержати підтвердження механіка про технічну справність автомобіля і дозвіл на виїзд.

На несправному або неуккомплектованому автомобілі виїзд на лінію не допускається.

Рух по території цеху виконується по затвердженій схемі. Швидкість руху автомобіля не повинна перевищувати 10 км/год, а при заїзді в корпус і виїзді з нього – 5 км/год. Рух на КТП здійснюється в один ряд з дистанцією не менш 5 м, не допускається рух автомобіля заднім ходом.

При підйомі в кабінку водій повинен очистити взуття, при підйомі і спуску по сходах обома руками триматися за поручні.

При зрушенні з місця переконатися у відсутності перешкод і людей по ходу руху і подати сигнал.

Не допускається використання відкритого вогню для прогрівання вузлів і агрегатів.

При перевірці рівня рідин в системі охолодження пробки радіаторів і бачків відкривати тільки при зниженні температури нижче 60°C.

4.2.6 Вимоги безпеки під час роботи. Виїзд з цеху і заїзд на територію цеху допускається тільки з дозволу механіка КТП. При цьому водій повинен переконатися у тому, що в кузові відсутні гірничі маса і металобрухт.

Водій повинен виконувати роботу, вказану в наряді. Відхилення від маршруту і виконання робіт, не передбачених завданням, не допускається.

Під час руху швидкість вибирається з урахуванням дорожніх умов, видимості, інтенсивності руху.

Максимальні швидкості руху порожнього і навантаженого автомобіля, дистанція між автомобілями при русі встановлюється з урахуванням місцевих умов.

При вимушених зупинках зупинити автомобіль необхідно на правій стороні дороги правіше до узбіччя, з дотриманням інтервалу між транспортними засобами.

При роботі на лінії водій зобов'язаний:

- виконувати правила безпеки руху в кар'єрі, рухатися по правій стороні проїжджої частини, не перевищувати встановлену швидкість руху;
- не обганяти автомобілі, що їдуть попереду;
- поступатися дорогою транспорту, що перевозить людей; вибухові матеріали; пожежним машинам і машинам швидкої допомоги; автомобілям, їдучим на підйом з вантажем;
- при проїзді мимо пішоходів, що знаходяться на проїжджій частині, або при наближенні до автомобіля, зайнятого перевезенням людей, вжити заходи до зниження швидкості і зупинки;
- перед зупинкою автомобіля подати попереджувальний сигнал.

Виходячи з кабіни автомобіля на проїжджу частину, переконатися у відсутності руху в попутному і зустрічному напрямках.

Перед виходом з кабіни вжити заходи, що виключають мимовільний рух автомобіля.

Під час руху заднім ходом не створювати перешкод для інших учасників руху. Швидкість руху заднім ходом у всіх випадках не повинна перевищувати 5 км/год.

Під час руху на схилі застосовувати динамічне гальмо.

Проїздити під повітряними ЛЕП за умови дотримання відстані між найвищою точкою автомобіля або вантажу і нижнім проводом не менш як 2 м.

Користуватися тільки встановленими для технологічних автомобілів автодорогами, переїздити через залізничні шляхи тільки на обладнаних для цих цілей переїздах.

У темний час доби здійснювати рух тільки з включеними фарами. Дальнє світло фар перемикається на ближнє не менш як 150 м від рухомого назустріч транспортного засобу. При засліпленні водій повинен, не міняючи смугу руху, зупинитися.

Для екстреної зупинки автомобіля у випадках недостатньої ефективності допоміжної гальмівної системи використовувати робочу гальмівну систему. Запасна гальмівна система використовується в аварійних ситуаціях.

При зарядці свердловин в кар'єрі проїздити від найближчої зарядженої свердловини або штабелю ВР не ближче 20 м з швидкістю не більш як 20 км/год.

При виникненні несправності, що впливає на безпеку руху, припинити роботу, зупинити і викликати тягач для буксирування машини в цех. На тягачі під час буксирування повинно бути включено ближнє світло, а на буксируваному автомобілі - габаритні вогні

При роботі на лінії водію не дозволяється:

- керувати транспортом в стані стомлення або алкогольного сп'яніння. перевозити в кабіні або кузові сторонніх осіб або передавати їм керувати автомобілем.

- перевищувати встановлену швидкість, руху.

- розвертати транспортний засіб у постів заправки паливом, на пішохідних переходах і переїздах.

- рух з піднятим кузовом.

- підйом кузова під лінією електропередач.

- робити різке гальмування, якщо це не потрібно для забезпечення безпеки руху.

- робити зупинку і стоянку на залізничних переїздах, пішохідних переходах і ближче як 5 м перед ними.
- переїжджати кабелі, прокладені на ґрунті без спеціального укриття, а також перетягування їх за допомогою автомобіля.
- виконувати буксирування автомобіля в ожеледь.
- самовільно змінювати маршрут, вказаний в наряді, виїжджати на дорогу загального призначення без письмового дозволу ДАІ.
- виходити з кабіни при працюючому двигуні і якщо автомобіль не загальмований, покидати кабіну при піднятті або опусканні кузова.
- робота з несправною гальмівною системою, рульовим керуванням, звуковою сигналізацією, фарами і габаритними вогнями.
- спати і відпочивати в кабіні при працюючому двигуні.
- виконувати огляд і ремонт автомобіля в місцях стоянки транспорту, чекаючого навантаження, і в забої екскаватора.

4.3 Висновок до розділу 4

4.3.1 Проведено аналіз шкідливих і небезпечних факторів.

4.3.2 Розглянуто рекомендації щодо техніки безпеки.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлено результати синтезу системи керування тягового електропривода на базі вентильного двигуна.

1. Розглянуто класифікацію гібридних автомобілів, проаналізовано їх переваги та недоліки, складено опис елементів силової частини Toyota Prius. Встановлено, що Toyota Prius відносять до одного з п'яти основних на сьогодні різновидів гібридних автомобілів – повний гібрид. Виявлено, що в автомобілі застосовано змішану послідовно-паралельну схему, що характерна як для короткочасних поїздок містом так і при тривалому замиському русі. Важливими перевагами для Toyota Prius є те, що тяговий електродвигун завжди видає максимальний крутний момент та наявність двох незалежних систем гальмування – рекуперативної і фрикційної.

2. Побудовано функціональну схему системи керування тягового електропривода на базі вентильного двигуна. Слід відмітити, що керування моментом двигуна здійснюється за рахунок регулювання поздовжньої і поперечної складових струму статора. При цьому значення складових струму, що необхідні для забезпечення заданого тягово-швидкісного режиму, визначаються з урахуванням обраного критерію якості керування – мінімум повного струму споживання в статичному режимі.

3. Складено математичний опис тягового електропривода та виконано розрахунок параметрів його елементів. Слід зазначити, що регулятор який використано в схемі містить чотири складові, перші дві являють собою стандартний ПІ-регулятор, третя призначена для компенсації зв'язку струмової динаміки між поздовжнім і поперечним каналами моделі, а четверта забезпечує активне демпфування. Елементи трансмісії автомобіля, які виступають навантаженням електропривода мають великий приведений момент інерції.

4. Досліджено динаміку системи керування тягового електропривода на базі вентильного двигуна. Виявлено, що величини помилок основних змінних моделювання, які викликані зневагою динамічними властивостям ВД, виявляються досить малими в порівнянні з діапазоном зміни відповідних змінних. Це підтверджує доцільність використання моделі ВД в процесі синтезу оптимального керування силовою установкою автомобіля с тяговим електроприводом, а також виборі й обґрунтуванні її базових параметрів та характеристик.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Моделирование тягового электропривода гибридного автомобиля на основе синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов / А. Н. Сергиенко [и др.] // Механіка та машинобудування. – 2015. – № 1. – С. 82-91.
2. Гібридні автомобілі / Бажинов О. В, Смірнов О. П., Гнатов А. В. // Навч. посіб. – Харків, 2008. – 327 с.
3. Бахмутов С.В., Карунин А.Л., Круташов А.В., Селифонов В.В., Карпухин К.Е., Баулина Е.Е., Урюков Ю.В. Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками: Учебное пособие. – М.: МГТУ «МАМИ», 2007 – 71 с.
4. Toyota Prius [Електронний ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия. Електронне видання. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: http://ru.wikipedia.org/wiki/Toyota_Prius
5. Рябов Е. С. Электродвигатели для перспективного электроподвижного состава / В. И. Омеляненко, Б. Г. Любарский, Е. С. Рябов, А. В. Демидов, Т. В. Глебова // Локомотив-інформ. – 2008. – №1. – С. 16-19.
6. Кардонов Г. А. Обобщенная электромеханическая система с линеаризованной механической характеристикой [Електронний ресурс] // С.-Петербург. гос. ун-т, кафедра электротехники и прецизионных электромеханических систем. Електронне видання. – Санкт-Петербург – Електрон. Текст. Дані. – Режим доступу: <http://www.ets.ifmo.ru/kardonov/privod/7.htm>
7. Кардонов Г. А. Динаміка электропривода с синхронным двигателем [Електронний ресурс] // С.-Петербург. гос. ун-т, кафедра электротехники и прецизионных электромеханических систем. Електронне видання. – Санкт-Петербург – Електрон. Текст. Дані. – Режим доступу: http://www.ets.ifmo.ru/kardonov/privod/7_2.htm

8. Модель тягового электропривода автомобиля на основе вентильного электродвигателя / С.А. Сериков // Управляющие системы и машины. – 2010. – №5. – С. 27-33.

ДОДАТОК А

Мультимедійна презентація

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Навчально-науковий
Інститут автоматики та електротехніки

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня магістра
на тему:

«Тяговий електропривод на базі вентильного двигуна»

Студент магістратури:

Печериця Ю. С.

Керівник кваліфікаційної роботи
магістра:

проф. каф. автоматики, д.е.н.
проф. Надточій І. І.

Миколаїв 2024

Рисунок А.1 – Слайд 1 мультимедійної презентації

Мета роботи. Об'єкт і предмет дослідження

Мета роботи	Синтез системи керування тягового електропривода на базі вентильного двигуна.
Об'єкт дослідження	Перехідні процеси в тяговому електроприводі на базі вентильного двигуна.
Предмет дослідження	Параметри системи керування електропривода з вентильним двигуном, які впливають на якість керування.

Рисунок А.2 – Слайд 2 мультимедійної презентації

Завдання дослідження

- 1 Розглянути класифікацію гібридних автомобілів, проаналізувати їх переваги та недоліки. Скласти опис елементів силової частини Toyota Prius.
- 2 Побудувати функціональну схему керування електропривода на базі вентильного двигуна.
- 3 Скласти математичний опис системи керування електропривода та виконати розрахунок параметрів її елементів.
- 4 Дослідити динаміку системи керування електропривода на базі вентильного двигуна.

Рисунок А.3 – Слайд 3 мультимедійної презентації

Елементи силової частини Toyota Prius

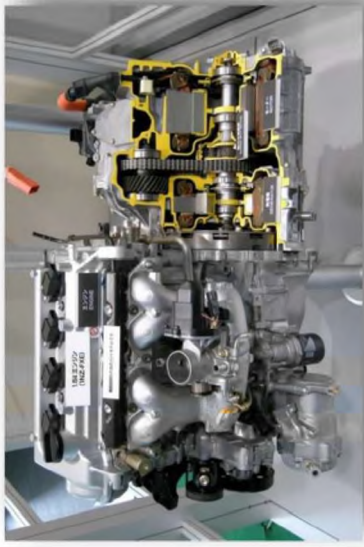


Рисунок А.4 – Слайд 4 мультимедійної презентації

Функціональна схема системи керування тягового електропривода

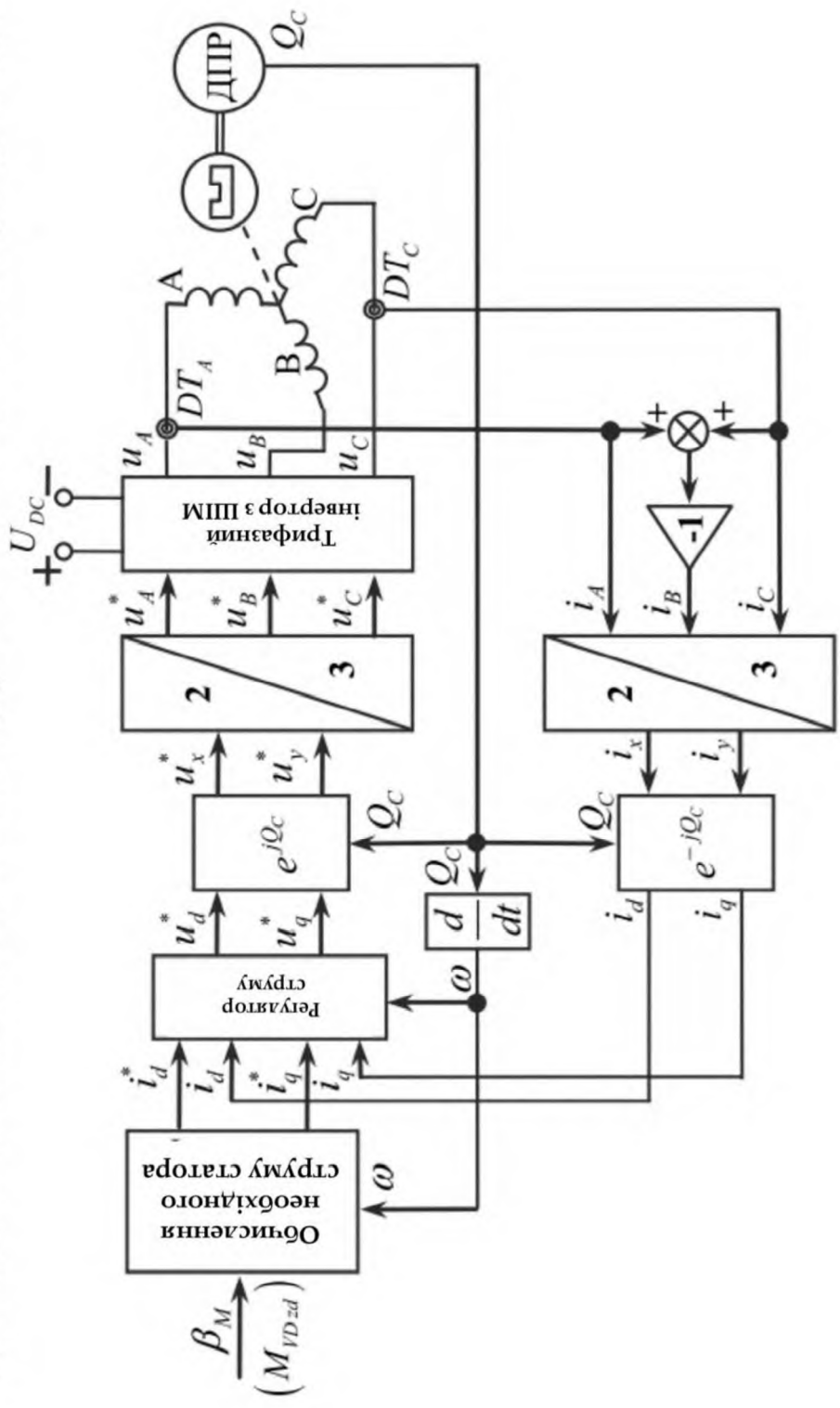


Рисунок А.5 – Слайд 5 мультимедійної презентації

Структурна схема тягового электропривода з ВЕНТИЛЬНИМ ДВИГУНОМ

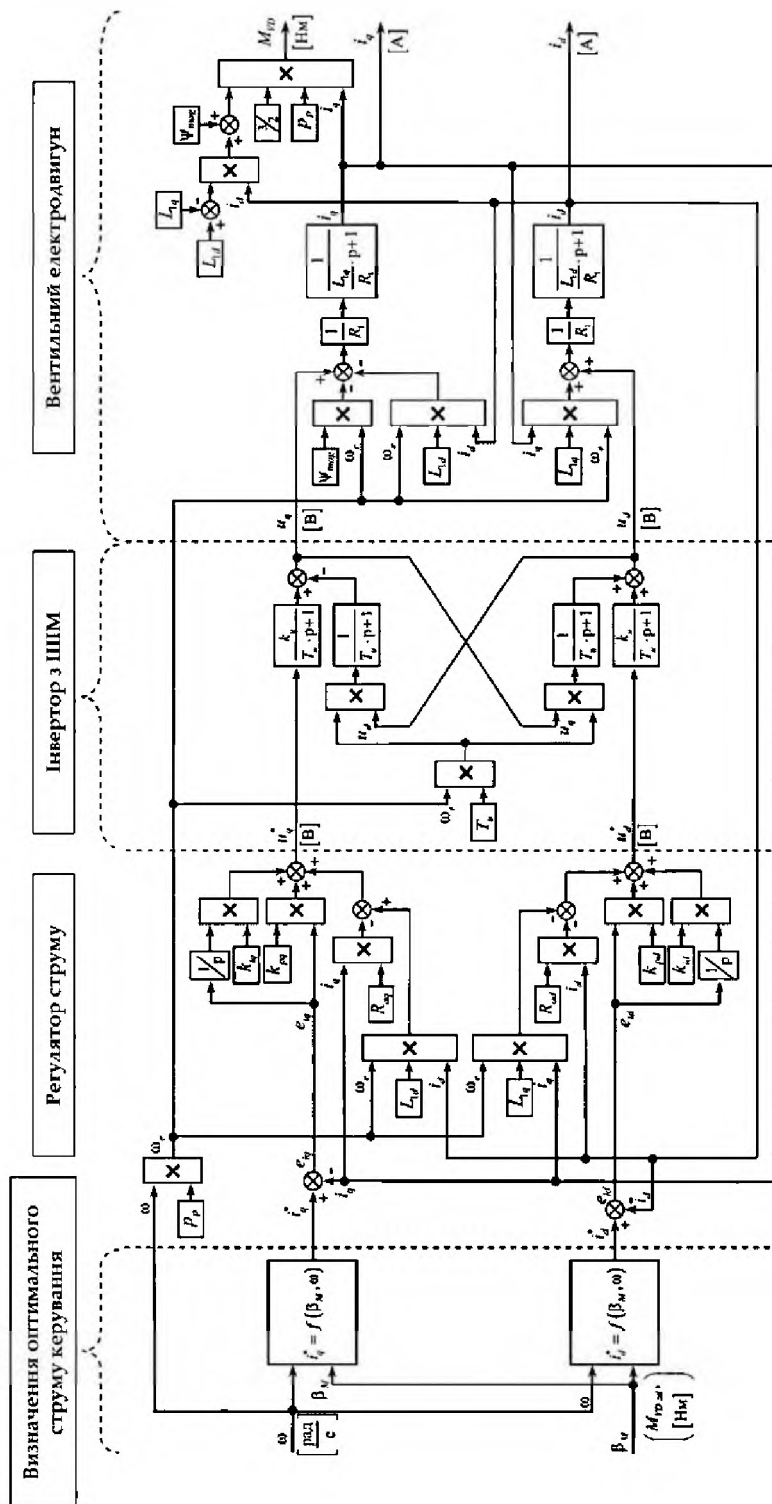


Рисунок А.6 – Слайд 6 мультимедійної презентації

Структурна схема моделі трансмісії автомобіля з тяговим електроприводом

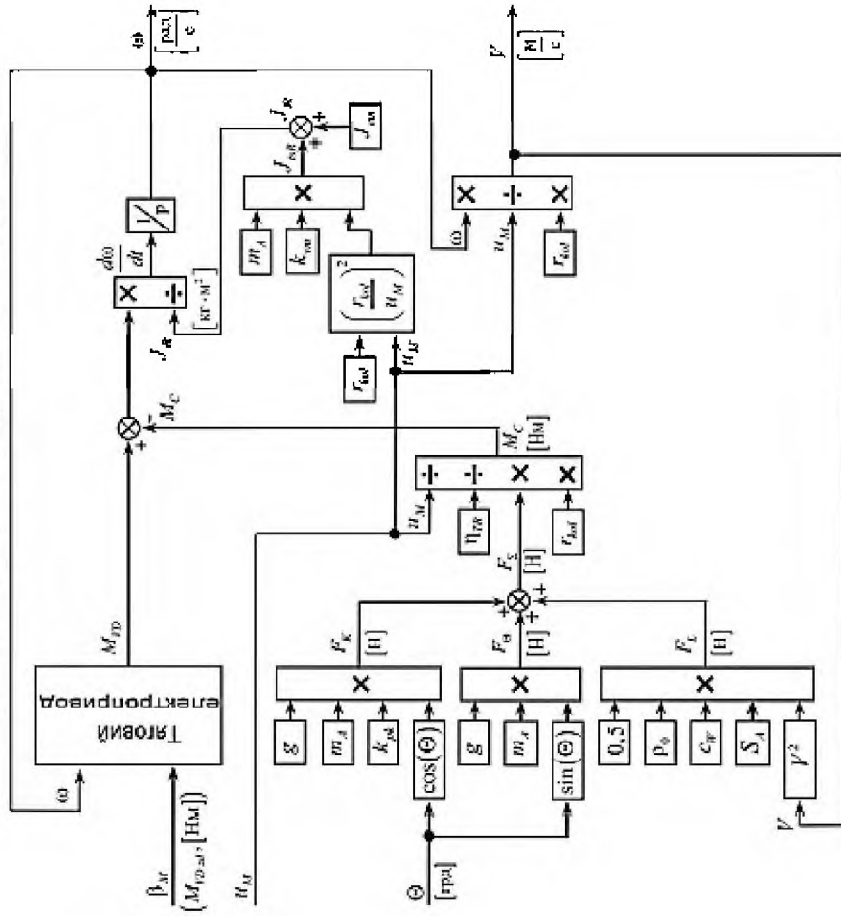


Рисунок А.8 – Слайд 8 мультимедійної презентації

Дослідження динаміки електропривода

Реакція тягового електропривода на ступінчатий керуючий вплив

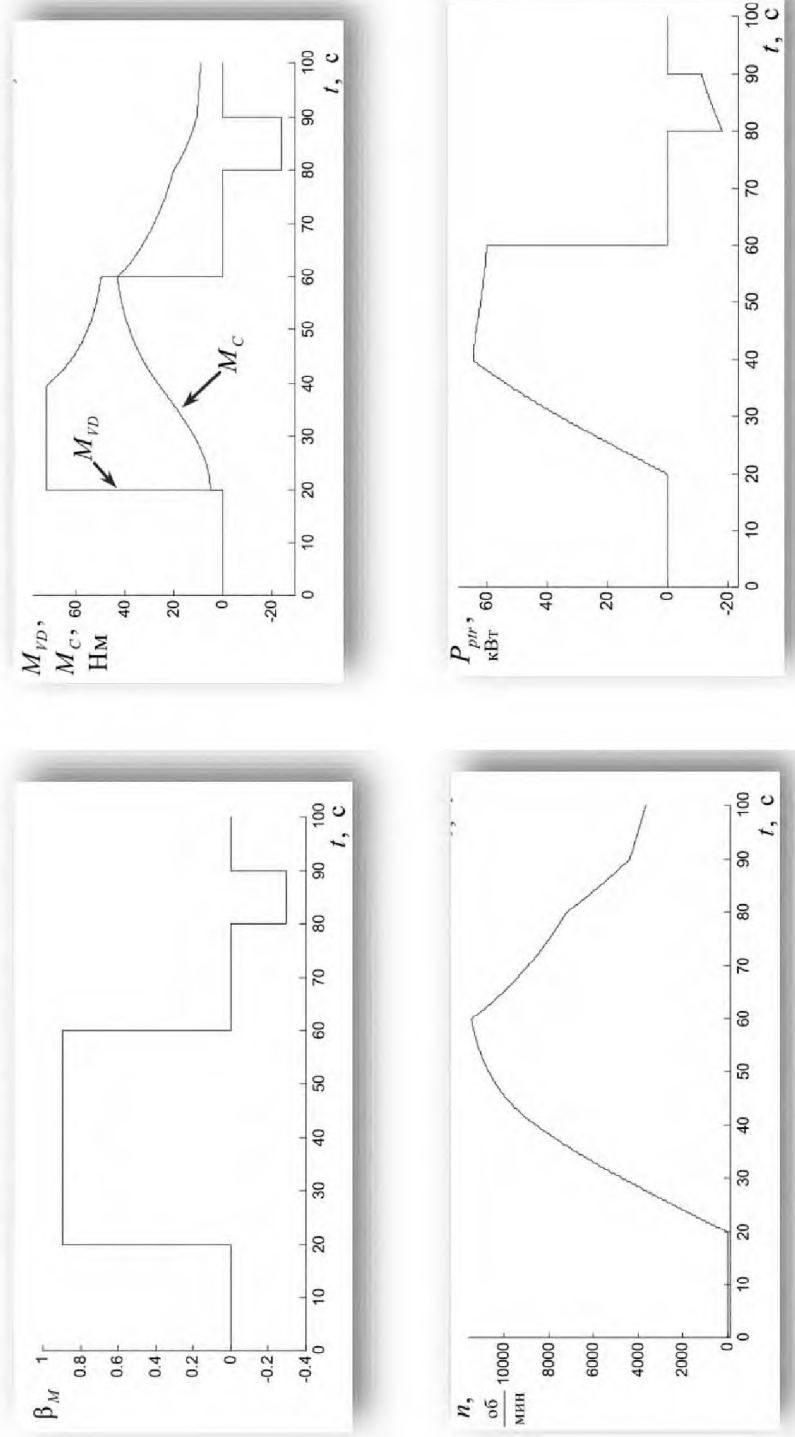
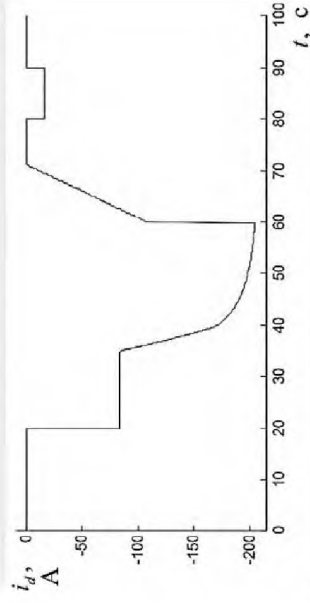
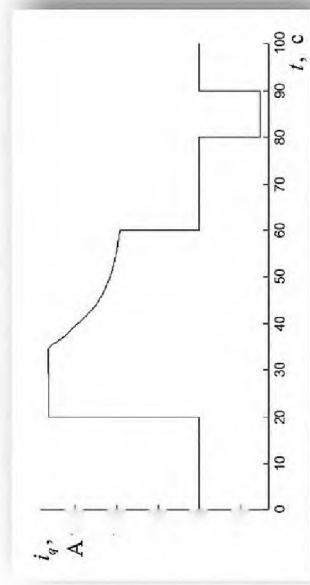


Рисунок А.9 – Слайд 9 мультимедійної презентації

Дослідження динаміки електродвигуна

Зміна поздовжньої і поперечної складових струму електродвигуна



Зміна поздовжньої і поперечної складових напруги електродвигуна

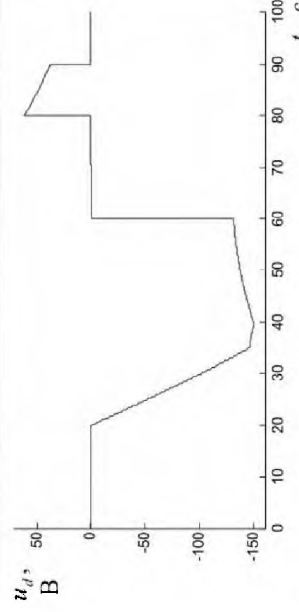
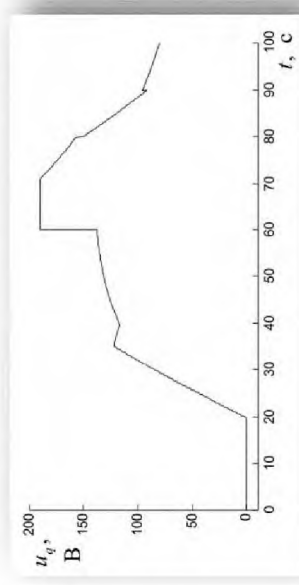


Рисунок А.10 – Слайд 10 мультимедійної презентації

Висновки

- 1 Розглянуто класифікацію гібридних автомобілів, проаналізовано їх переваги та недоліки, складено опис елементів силової частини Toyota Prius. Встановлено, що Toyota Prius відносять до одного з п'яти основних на сьогодні різновидів гібридних автомобілів – повний гібрид. Виявлено, що в автомобілі застосовано змішану послідовно-паралельну схему, що характерна як для короткочасних поїздок містом так і при тривалому замиському русі. Важливими перевагами для Toyota Prius є те, що тяговий електродвигун завжди видає максимальний крутний момент та наявність двох незалежних систем гальмування – рекуперативної і фрикційної.
- 2 Побудовано функціональну схему системи керування тягового електропривода на базі вентильного двигуна. Слід відмітити, що керування моментом двигуна здійснюється за рахунок регулювання поздовжньої поперечної складових струму статора. При цьому значення складових струму, що необхідні для забезпечення заданого тягово-швидкісного режиму, визначаються з урахуванням обраного критерію якості керування – мінімум повного струму споживання в статичному режимі.

Рисунок А.11 – Слайд 11 мультимедійної презентації

Висновки

- 3 Складено математичний опис тягового електропривода та виконано розрахунок параметрів його елементів. Слід зазначити, що регулятор який використано в схемі містить чотири складові, перші дві являють собою стандартний ПІ-регулятор, третя призначена для компенсації зв'язку струмової динаміки між подовжнім і поперечним каналами моделі, а четверта забезпечує активне демпфування. Елементи трансмісії автомобіля, які виступають навантаженням електропривода мають великий приведений момент інерції.
- 4 Досліджено динаміку системи керування тягового електропривода на базі вентиляного двигуна. Виявлено, що величини помилок основних змінних моделювання, які викликані зневагою динамічними властивостям ВД, виявляються досить малими в порівнянні з діапазоном зміни відповідних змінних. Це підтверджує доцільність використання моделі ВД в процесі синтезу оптимального керування силовою установкою автомобіля с тяговим електроприводом, а також виборі й обґрунтуванні її базових параметрів та характеристик.

Дякую за увагу!