

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ, ІНФОРМАЦІЙНОЇ
ТА ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

**ВПРОВАДЖЕННЯ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНИХ ДВИГУНІВ
У ДОПОМІЖНІ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛІВ**

Бакалаврська кваліфікаційна робота

Здобувач:

Станіслав ШЕНІН

гр. ЕТ 2022-1

Керівник:

Олександр ПЕТРЕНКО

проф., д.т.н.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
імені О. М. Бекетова

Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної
інфраструктури

Кафедра електричного транспорту

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ



Завідувач кафедри ЕТ

Микола ХВОРОСТ

16 червня 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Ішенін Станіслав Едуардович

1. Тема роботи: **Впровадження вентиляно-індукторних двигунів у
допоміжні системи автомобілів**

керівник бакалаврської

кваліфікаційної роботи**Петренко Олександр Миколайович, д.т.н. проф**

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

затверджені наказом університету від 22.05.2026 р. № 440-03

2. Строк подання студентом бакалаврської кваліфікаційної роботи
20.06.2026 р.

3. Вихідні дані до бакалаврської роботи Матеріали переддипломної практики,
статистичні дані по надійності та відмовам транспортних засобів, літературні джерела
по експлуатації, обслуговуванню та ремонту електричного обладнання.

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

4.1. Аналіз допоміжних систем транспортних засобів

4.2. Конструкція та принцип роботи вентиляно-індукторного двигуна




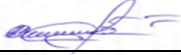
4.3 Керування вентиляно-індукторним двигуном

4.4. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу

Результати аналізу допоміжних систем транспортних засобів, конструкція та результати дослідження Вентильно –індукторного двигуна.

6. Консультанти розділів бакалаврської кваліфікаційної роботи

Розділ	Ім'я Прізвище та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Олександр ПЕТРЕНКО проф.		
Антиплагіат	Вікторія ЛЕВЧЕНКО, інж.		
Нормоконтроль	В'ячеслав ШАВКУН, доц.		

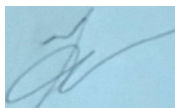
7. Дата видачі завдання

16.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

п/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Стан питання	23.05 – 29.05.2026	
2	Розробка технічного завдання	30.05 – 05.06.2026	
3	Розрахункова частина	06.06 – 12.06.2026	
4	Охорона праці	06.06 – 12.06.2026	
5	Оформлення паперового та електронного варіантів роботи	06.06 – 12.06.2026	
6	Підготовка доповіді та презентації	12.06 – 20.06.2026	

Здобувач



Станіслав ІШЕНІН

Керівник бакалаврської

кваліфікаційної роботи



Олександр ПЕТРЕНКО

РЕФЕРАТ

Ключові слова: електропривод, енергоефективність, вентильно-індукторний двигун, моделювання.

В бакалаврській роботі на тему «Впровадження вентильно-індукторних двигунів у допоміжні системи автомобілів» розглянуто можливість використання вентильно-індукторного двигуна в якості приводного в допоміжних системах транспортних засобів.

Проведено аналіз основних сучасних допоміжних систем, які використовуються на транспортних засобів. Прийнято рішення про використання ВІД в компресорній системі підкачки шин і системи конденсування.

Розроблена імітаційна модель надає можливість досліджувати електромагнітні та електромеханічні процеси у вентильно-індукторному приводі, а також аналізувати різні методи керування.

В роботі розглянуто питання Охорони праці для водія тролейбуса.

Бакалаврська робота містить:

- *Рисунків* - 11;
- *листів пояснювальної записки* - 50;
- *-таблиць* - 2 .

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. Аналіз допоміжних систем транспортних засобів.....	8
2. Конструкція та принцип роботи вентиляно-індукторного двигуна.....	17
2.1 Конструктивні особливості ВІД.....	17
2.2 Принцип дії ВІД.....	19
2.3 Переваги та недоліки ВІД.....	20
3. Керування вентиляно-індукторним двигуном.....	22
3.1 Система керування ВІД.....	22
3.2 Визначення кутів комутації ВІД.....	25
3.3 Моделювання ВІД.....	27
4. Охорона праці.....	29
4.1 Задачі розділу.....	29
4.2 Аналіз умов праці та виявлення небезпечних та шкідливих виробничих факторів на обраному об'єкті.....	30
4.3 Розробка організаційних та технічних заходів для створення безпечних умов праці на маршрутах тролейбусу.....	32
ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46

ВСТУП

Вентильно-індукторний двигун (ВІД) був розроблен в період з 1830 по 1850 рік. Через складність управління він не зміг знайти широке застосування і, таким чином, поступово втратив свою актуальність до середини 1960 року, коли почався розвиток у сфері силової електроніки. Це спонукало дослідників вивчити можливість використання ВІД з більш удосконаленим управлінням. У цьому двигуні крутний момент генерується за рахунок прагнення його частини (ротора), що обертається, зайняти положення, в якому індуктивність збудженої обмотки є максимальною.

З розвитком силової електроніки вентильно-індукторний двигун (ВІД) став конкурентоспроможним вибором для деяких промислових установок у системах управління електричними машинами завдяки своїй простоті та надійній конструкції.

У багатьох галузях промисловості потрібно здійснювати регулювання широкому діапазоні частоти обертання. Для цієї мети найбільше підходить електропривод із ВІД. У даній роботі здійснюється моделювання системи управління вентильно-індукторним двигуном. ВІД – це відносно новий тип електромеханічного перетворювача енергії, який поєднує в собі властивості та електричної машини та інтегрованої системи регульованого електроприводу .

Як система регульованого електроприводу ВІД дає можливість здійснювати управління цим процесом відповідно до особливостей конкретного навантаження: регулювати частоту обертання, момент, потужність тощо. Однією з основних проблем цього типу двигуна є пульсації моменту та вібрації двигуна. Вони пов'язані з конструкцією статора та ротора, а також зі способом комутації фаз.

Останнім часом цей тип двигунів знаходить застосування в різних сферах використання: від побутових приладів до рейкового транспорту. ВІД з електронними системами управління часто поєднують у собі найкращі якості безконтактних двигунів та двигунів. На основі літературних джерел та

досліджень ВІД, необхідно вивчити на математичній моделі особливості використання ВІД для компресорної системи автомобілей та іншого рухомого складу.

У пакеті Matlab слід розробити модель та змоделювати робочі режими ВІД.

1 АНАЛІЗ ДОПОМІЖНИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Транспортні засоби постійно вдосконалюються виробниками для забезпечення безпеки водія та комфортного керування автомобілем. Розглянемо нові технології автомобіля у безпеці.

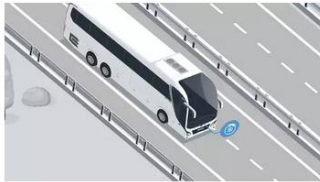
Сучасні системи безпеки транспортного засобу можна поділити на активні системи безпеки та пасивні.

Активні системи безпеки автомобіля мають різні технології та пристрої, призначені для забезпечення безпеки водія, пасажирів та інших учасників дорожнього руху. Ось деякі з основних видів:

1. Адаптивний круїз-контроль (ACC) – це система автоматичного контролю швидкості під час руху автомобіля. Вона використовує радар або лазерний датчик, щоб безперервно відстежувати відстань до транспорту, що рухається попереду, коригувати швидкість і дистанцію до нього.

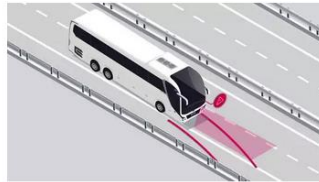
2. Система автономного екстреного гальмування (Autonomous Emergency Braking, AEB) – це технологія, яка використовується в автомобілях для запобігання зіткненням або зниження їх наслідків. AEB використовує датчики (камери або радар) для спостереження за дорожньою обстановкою перед автомобілем. Коли система виявляє загрозу зіткнення з перешкодою, вона автоматично активує гальма автомобіля, щоб запобігти чи обмежити силу зіткнення. Деякі системи AEB можуть навіть повністю зупинити автотранспорт, якщо велика небезпека зіткнення.

3. Система автоматичного перемикання світла на автомобілі називається автоматичним увімкненням фар (Automatic Headlights). Ця функція дозволяє автомобілю визначати умови освітлення та автоматично вмикати або вимикати фари залежно від того, чи потрібні вони на даний момент.



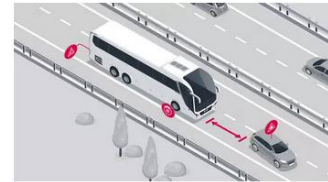
ЕЛЕКТРОННА ГАЛЬМІВНА СИСТЕМА (EBS) І MAN BRAKEMATICS

- Стойкість і керуваність під час екстреного гальмування
- Захист від заносу автомобіля в разі втрати зчеплення з дорогою
- Підтримка постійної швидкості під час руху під гору



СИСТЕМА СТЕЖЕННЯ ЗА ДОРОЖНЬОЮ РОЗМІТКОЮ (LDW)

- Допомога водію для надійного втримання авто у смузі
- Адаптивна система попередження



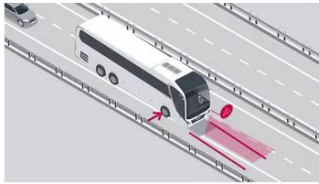
СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО ЕКСТРЕНОГО ГАЛЬМУВАННЯ (EBA)

- Попереджає водія за ситуації, що потребує екстреного гальмування
- Автоматично зупиняє транспортний засіб у небезпечних ситуаціях
- Попереджає авто, що рухається позаду, за допомогою аварійної сигналізації



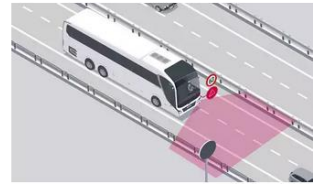
КРУЇЗ-КОНТРОЛЬ ІЗ GPS-КЕРУВАННЯМ: MAN EFFICIENTCRUISE

- Далекоглядне водіння: Завчасно визначає топографію місцевості подорожі
- Підвищена економія пального завдяки адаптації стилю керування та стратегії перемикання передач



СИСТЕМА ПОВЕРНЕННЯ НА СМУГУ РУХУ MAN

- Допомога водію для надійного втримання авто у смузі
- Попереджає про ненавмисний з'їзд зі смуги
- Спрямовує авто назад на смугу руху



РОЗПІЗНАВАННЯ ДОРОЖНІХ ЗНАКІВ MAN

- Надійно визначає поточні вимоги
- Попереджає водія зокрема й про перевищення швидкості
- Допомагає підвищити безпеку та зменшує навантаження на водія



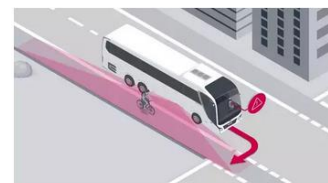
СИСТЕМА ДОПОМОГИ ПІД ЧАС РУХУ В ЗАТОРАХ MAN

- Автоматично керує приводом, гальмами й кермом
- Утримує дистанцію між транспортними засобами під час заторів і руху з частими зупинками, а також слідкує, щоб авто залишалося у смузі
- За необхідності гальмує до зупинки, а також автоматично стартує під час коротких зупинок



АСИСТЕНТ ЗМІНИ СМУГИ РУХУ MAN

- Контролює смуги руху праворуч і ліворуч від автобуса
- Попереджає про небезпечні ситуації під час зміни смуги руху
- 3-ступеневе попередження світлодіодними модулями на передніх стійках кабіни



СИСТЕМА ДОПОМОГИ ПІД ЧАС ПОВОРОТУ MAN

- Контролює важкодоступні зони з боку пасажирів
- Попереджає про небезпечні ситуації під час повороту
- 3-ступеневе попередження світлодіодною смугою на передній стійці кабіни

Рисунок 1.1 – Допоміжні системи безпеки та контролю Транспортних засобів

4. Антиблокувальна система гальм (АБС) – це технологія, яка застосовується в автомобілях, яка дозволяє запобігти блокуванню коліс під час

гальмування. Основний принцип роботи АБС полягає у контролі тиску в гальмівній системі кожного колеса. Коли датчики розпізнають початок блокування колеса, АБС автоматично регулює тиск на гальмі цього колеса, частково знижуючи його, а потім збільшуючи повторно, щоб забезпечити максимальне зчеплення з дорогою.

5. Система стабілізації автомобіля, також звана електронною стабілізаційною програмою ESP (Electronic Stability Program), призначена для забезпечення стійкості та безпеки автомобіля при екстремальних ситуаціях на дорозі. Її основною метою є запобігання занесення або підкручування автомобіля при різких маневрах або на слизькій дорожній поверхні.

6. Система розподілу гальмівних зусиль EBD (Electronic Brakeforce Distribution) є частиною гальмівної системи. Основне завдання EBD полягає у підтримці рівного тиску в системі гальм та запобіганні блокуванню коліс при різкому гальмуванні. Вона використовує інформацію від датчиків коліс, а також інших датчиків, щоб визначити, скільки гальмівного зусилля потрібно на кожному колесі.

Допоміжні системи активної безпеки

Допоміжні системи активної безпеки автомобіля призначені для запобігання або зниження наслідків аварійних ситуацій на дорозі та включають систему допомоги при різкому гальмуванні (BAS): Автоматично збільшує силу гальмування при виявленні різкого натискання на педаль гальма, щоб знизити зупинний шлях, систему попередження про зіткнення (FCW): Використовує радари, лазери або камери для виявлення предметів або інших автомобілів на дорозі та попереджає водія про можливу небезпеку зіткнення, систему допомоги при паркуванні (PAS): Використовує датчики та камери для допомоги водієві при паркуванні, запобігаючи зіткненням з перешкодами та систему контролю тиску в шинах (TPMS): Моніторить тиск у шинах та попереджає водія про небезпеку недостатнього тиску або втрати тиску. При наявності вбудованого компресора підтримує заданий тиск в шинах транспортного засобу.

Автомобільні повітряні компресори — це досить важливі пристрої, які підкачують тиск повітря. Їх використовують для накачування шин, живлення невеликих пневматичних інструментів, які є в гаражах, а також для стабільної роботи систем кондиціонування. Правильне накачування шин має велике значення для безпеки на дорозі, для керованості автомобіля на віражах і навіть впливає на витрату пального під час поїздок. Водії, які регулярно перевіряють тиск у шинах, помічають покращення загальної продуктивності своїх автомобілів. Дослідження показують, що підтримка правильного тиску в шинах може реально підвищити економію пального приблизно на 3%. Це, звісно, не здається багато, але за тисячі кілометрів, які проїжджають щороку, такі мінімальні поліпшення приносять помітну економію на заправці. Крім того, коли автомобілі працюють ефективніше, вони природним чином викидають менше забруднювачів у повітря.

Основні компоненти автомобільного повітряного компресора

Автомобільний компресор складається з кількох ключових частин, які працюють разом: мотор, насос, повітряний бак, манометр і регулятор. Мотор, по суті, живить усе інше, приводячи в рух насос, який насправді виконує роботу зі стиснення повітря та подачі його в бак, де воно зберігається. Більшість баків виготовлені з міцної сталі й можуть уміщати від 5 до 10 галонів залежно від розміру. Контроль тиску також є дуже важливим, тому більшість установок оснащені манометром. Це дозволяє користувачам знати, коли тиск стає занадто високим або низьким, запобігаючи пошкодженню як обладнання, так і шин. Потім є частина регулятора, яка виступає як регулювальник потоку повітря, забезпечуючи правильний тиск, чи то комусь потрібно накачати велосипедні шини, чи заповнити колеса вантажівки. Усі ці компоненти мають добре взаємодіяти між собою, щоб уся система працювала належним чином, надаючи водіям доступ до надійного стисненого повітря, коли це потрібно для виконання різноманітних завдань навколо автомобіля.

Коли автокомпресор починає працювати, спочатку увімкнеться мотор, який приводить у дію насос. Повітря надходить у систему через вхідний

клапан, потім стискається всередині, перш ніж потрапити в резервуар для зберігання. Більшість компресорів працюють або шляхом стискання повітря за допомогою поршнів, або обертанням за допомогою так званого роторно-шнекового механізму. Обидва ці способи зменшують об'єм, який займає повітря, що призводить до швидкого зростання тиску. Після стиснення резервуар наповнюється стисненим повітрям, яке очікує на використання, наприклад, для накачування шин до потрібного тиску або роботи малих пневматичних інструментів, якими так люблять користуватися механіки.

Роль компресора у системі кондиціонування повітря

Компресор відіграє ключову роль у системі кондиціонування автомобіля, по суті, переміщуючи хладагент і підтримуючи належний тиск. Усе відбувається досить просто – компресор забирає газ з низьким тиском і стискає його до вищого тиску, щоб він краще циркулював котушками конденсатора й випарника. У спекотні літні дні, коли кожному хочеться, щоб на обличчя дув прохолодний повітря, саме цей процес стиснення стає надзвичайно важливим для ефективного охолодження салону. Якщо компресор починає збоїти, це відразу помітно, адже кондиціонер перестає нормально працювати. Тому рекомендується регулярно перевіряти його стан, щоб водії могли почуватися комфортно в салоні незалежно від того, наскільки сильно палить сонце ззовні.

Автомобільні повітряні компресори відіграють ключову роль у системах підкачування шин, пропонуючи водіям швидкий спосіб відрегулювати тиск у шинах за потреби. Майже всі моделі оснащені простими у використанні приладдями для звичайних ніпелів шин, тому підтримання правильної рівня тиску у шинах не є таким вже складним, як багато хто думає. Коли шини накачані належним чином, це не лише робить кермування безпечнішим, але й допомагає економити кошти на заправці пального, а також продовжує термін служби шин перед їх заміною. За даними останніх досліджень, майже половина всіх автомобілів на дорогах США мають шини, які або недостатньо, або надмірно накачані. Це означає, що мільйони водіїв могли б скористатися

перевагами наявності якісного повітряного компресора, як для власної безпеки, так і для уникнення зайвих витрат у майбутньому.

Портативні та вбудовані моделі компресорів

Автомобільні повітряні компресори зараз в основному поділяються на два основні типи: переносні та ті, що встановлені всередині автомобіля. Переносні моделі чудові тим, що достатньо маленькі, щоб їх можна було покласти в багажник або навіть у перчаткову скриньку. Люди схвалюють їх за здатність швидко накачувати шини або живити невеликі інструменти, коли ви перебуваєте вдалині від майстерень. Деякі навіть беруть їх із собою на природу, на риболовлю, де стиснене повітря стає корисним у багатьох ситуаціях, окрім звичайного технічного обслуговування авто. Вмонтовані компресори працюють інакше, адже їх встановлюють безпосередньо в нові автомобілі виробники. Вони дають водіям миттєвий доступ без необхідності шукати обладнання, але, очевидно, їх не можна просто забрати і використовувати десь у іншому місці. Отже, найкращий вибір залежить від того, як людина планує найчастіше використовувати свій компресор. Якщо гнучкість важливіша за постійну доступність, то переносні моделі — очевидний вибір.

Компресори з приводом від щеплення проти компресорів зі змінною потужністю

Системи кондиціонування повітря в автомобілях зазвичай оснащуються двома основними типами компресорів: з приводом через муфту та змінної продуктивності. Компресори з приводом через муфту вмикаються та вимикаються залежно від потреби системи в охолодженні в даний момент. Це означає, що вони не витрачають зайвий енергії, працюючи постійно, як це буває в деяких інших системах. Компресори змінної продуктивності працюють інакше. Вони можуть змінювати обсяг виробленого холодного повітря залежно від ситуації в салоні автомобіля. Саме тому багато нових автомобілів почали використовувати саме ці моделі. Виробники автомобілів схвалюють їх, тому що вони забезпечують кращий контроль температури та

економію палива одночасно — це має велике значення для людей, які турбуються про екологічний стан навколишнього середовища. Під час заміни або модернізації існуючої системи компресора важливо знати, який тип встановлений, щоб правильно підібрати необхідну деталь.

Автомобільні повітряні компресори відіграють важливу роль у підтриманні належного тиску в шинах, що впливає як на безпеку, так і на ефективність роботи автомобіля під час руху. Якщо шини накачані до правильного рівня тиску, це зменшує ймовірність проколу або потрапляння в аварію, особливо на високих швидкостях на автомагістралях. Кращий тиск у шинах також забезпечує кращу керованість автомобіля на віражах і скорочує гальмівний шлях, тому весь процес керування стає плавнішим і надійнішим. Дослідження показують, що автомобілі з правильно накачаними шинами можуть зменшити витрати пального приблизно на 11 центів за кожен галон бензину, що з часом суттєво впливає на загальні витрати. Регулярне використання повітряного компресора робить усе це можливим, допомагаючи водіям залишатися в безпеці, незалежно від погодних умов і стану доріг, з якими вони стикаються з кожним днем.

Включення перевірки тиску в шинах до звичної процедури технічного обслуговування допомагає уникнути дорогих ремонтів після проколів, що найчастіше трапляються, коли водії не перевіряють тиск регулярно. Дослідження показують, що приблизно 70 відсотків усіх проблем із шинами можна уникнути, просто підтримуючи в них правильний тиск. Отже, регулярне використання компресора має сенс не тільки для збільшення терміну служби автомобіля, але й для зменшення витрат на ремонт.

Вбудовані автомобільні компресори — це інтегровані в авто пневматичні системи або стаціонарно закріплені під капотом чи в багажнику електричні насоси. Вони живляться безпосередньо від бортової мережі 12V/24V, позбавляють від потреби возити із собою переносні пристрої та ідеально підходять для оперативного контролю тиску і накачування шин. Вони

бувають двох основних типів, які визначають їхню конструкцію, надійність та призначення:

1. Вбудовані поршневі системи

Як працює: Електродвигун рухає поршень у циліндрі, який нагнітає повітря в ресивер (за потреби) або безпосередньо в шину.

Головні переваги: Висока продуктивність, здатність створювати високий тиск (до 10–14 атмосфер), ідеальний вибір для позашляховиків, мінівенів та вантажівок.

Особливості: Потребують змащення (деякі моделі безмасляні, але їх ресурс менший), виділяють багато тепла під час роботи, тому металевий корпус повинен мати якісне оребрення.

2. Вбудовані мембранні (діафрагмові) системи.

Як працює: Гнучка гумова або полімерна мембрана згинається під дією штока, створюючи перепад тиску та прокачуючи повітря.

Головні переваги: Дуже компактні, довговічні (відсутність деталей, що труться), прості в ремонті та безшумні.

Особливості: Видають менший тиск і підходять здебільшого для легкових автомобілів. Неefективні при сильних морозах через втрату еластичності мембрани.

Ключові елементи вбудованої системи:

Електродвигун: Для інтегрованих рішень обирають безщіткові мотори, які не перегріваються і не потребують обслуговування. В роботі пропонується використання вентильно-індукторного двигуна в якості приводу компресора.

Ресивер (резервуар для повітря): Балон, у якому накопичується стиснене повітря. Дозволяє миттєво підкачати шини та підключати пневмоінструменти чи пневмосигнал (гудки).

Манометр: Дозволяє контролювати тиск. Найзручніші — цифрові варіанти з можливістю автостопу (вимикають компресор при досягненні виставленого тиску).

Блок керування: Панель у салоні авто або пульт для відстеження показників та запуску.

Переваги вбудованого компресора перед портативним:

Мобільність та комфорт: Займає менше місця в багажнику, адже встановлений у прихованих нішах авто (наприклад, під сидінням, у крилі чи під капотом).

Швидкість: Має більшу продуктивність, здатний накачати великі колеса за лічені хвилини.

Універсальність: Дозволяє використовувати пневмопідвіску, підключати пневматичний інструмент, продувати деталі тощо.

2. ПРИСТРІЙ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНОГО ДВИГУНА

2.1 Конструктивні особливості ВІД

Вентильно-індукторна машина може мати різні конструктивні виконання. Як приклад, на рисунку 1 наведено машина 8/6, де 8 – це число пар полюсів статора, а 6 – кількість зубців ротора.

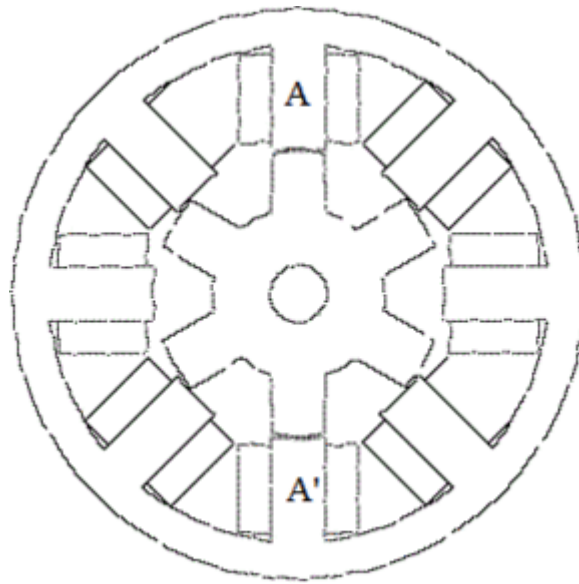


Рисунок 2.1 – Поперечний переріз 4-х фазного ВІД з виконанням 8/6

ВІД має такі конструктивні особливості:

1. Сердечники статора та ротора мають явнополюсну структуру;
2. Кількість пар полюсів є відносно невеликою, при цьому кількість полюсів статора перевищує кількість полюсів ротора;
3. Сердечники статора та ротора виготовляються шихтованими;
4. Обмотка статора є зосередженою котушковою. Вона може бути однофазною або багатofазною;
5. Фаза ВІД, як правило, складається з двох котушок, розташованих на діаметрально протилежних полюсах статора. Відомі ІМ з подвоєною кількістю полюсів статора та ротора. Такі електричні машини в 4-фазному виконанні

мають конфігурацію 16/12. Фаза такого ВІД складається з двох пар котушок, які розташовуються на полюсах статора так, що їх осі є ортогональними;

6. Котушки фази можуть бути з'єднані в електричному відношенні паралельно або послідовно, в магнітному - відповідно або зустрічно;

7. Обмотка на роторі ВІД відсутня.

На рис. 2.2 наведено ВІД різної конфігурації.

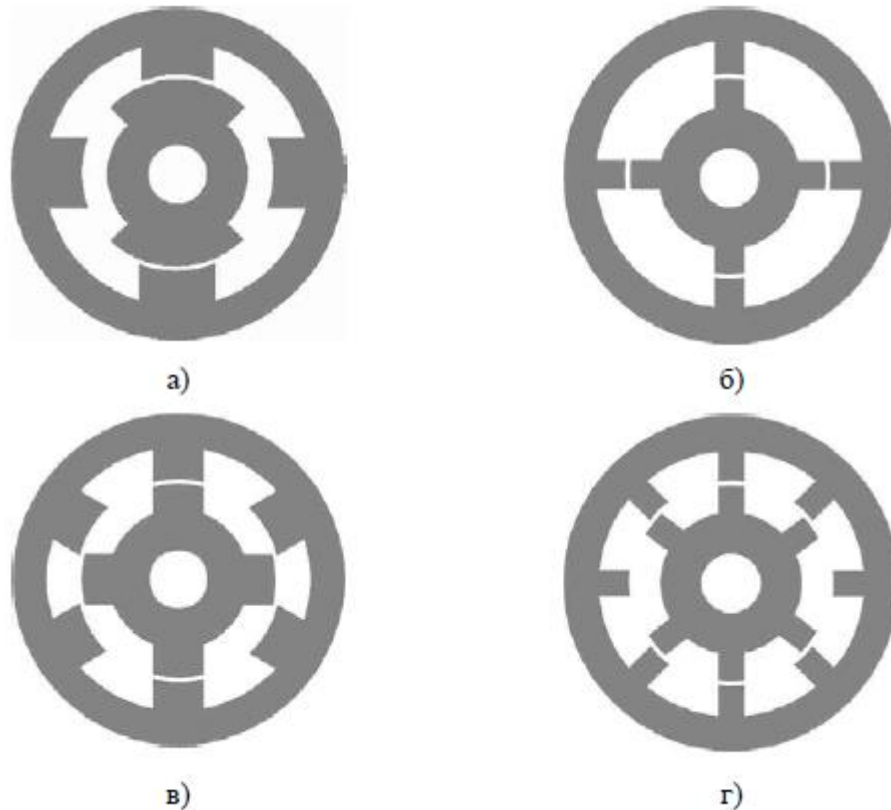


Рисунок 2.2 – Різні зміни ВІД:

а — однофазна ІМ конфігурації 2/2;

б - двофазна ІМ конфігурації 4/4;

в - трифазна ІМ конфігурації 6/4;

г - чотирифазна ІМ конфігурації 8/6

Конструктивно ВІД, перетворювач частоти та система управління у ВІД можуть бути реалізовані окремо. При цьому в процесі експлуатації вони можуть знаходитися на значній відстані один від одного.

Як і асинхронні машини, у знеструмленому стані ВІД не генерують крутний момент під час обертання. Залишкова намагніченість часто викликає невеликий утримуючий момент у знеструмленому стані. На низьких швидкостях ВІД перевершують асинхронні машини за щільністю крутного моменту завдяки великій кількості пар полюсів, тоді як на вищих швидкостях вони явно програють. У цьому контексті вони безумовно поступаються синхронним машинам з постійними магнітами. Висока пульсація крутного моменту, що призводить до значного шуму, а також великі розміри двигуна, заважають подальшому поширенню реактивних машин.

2.2 Принцип дії ВІД

Принцип роботи двигуна ВІД є досить простим: коли електричний струм проходить через одну з обмоток статора, момент, що крутить, виникає внаслідок прагнення ротора з'єднатися з збудженим полюсом статора. Напрямок генерованого моменту залежить від розташування ротора стосовно фази, на яку подається напруга, і не підлягає впливу напрямку струму в цій конкретній обмотці. Крутний момент може бути забезпечений безперервно, синхронізуючи збудження кожної фазної обмотки з положенням ротора. Струм, що проходить через обмотку ВІД, регулюється шляхом відповідного вмикання та вимикання силових електронних перемикачів, які можуть з'єднувати кожен фазу ВІД з шиною постійного струму.

На одному валу з електромеханічним перетворювачем (ЕМП) закріплений датчик положення ротора (ДПР). Кожна фаза ЕМП генерує момент, що крутить, лише в певному діапазоні кутів повороту ротора. У цьому діапазоні кутів ДПР формує сигнал, який надходить до мікропроцесора і далі, через узгоджувальний пристрій, електронний комутатор, що живиться від джерела постійного струму. При надходженні сигналу електронний комутатор підключає відповідну фазу ЕМП. Положення зубця ротора, в якому його вісь збігається з віссю зубця статора, називається узгодженим, а положення, в якому вісь зубця статора проходить по осі між двома сусідніми зубцями ротора

- неузгодженим. Так, для фази А має місце неузгоджене становище (рис 2.3а), а фази З – узгоджене.

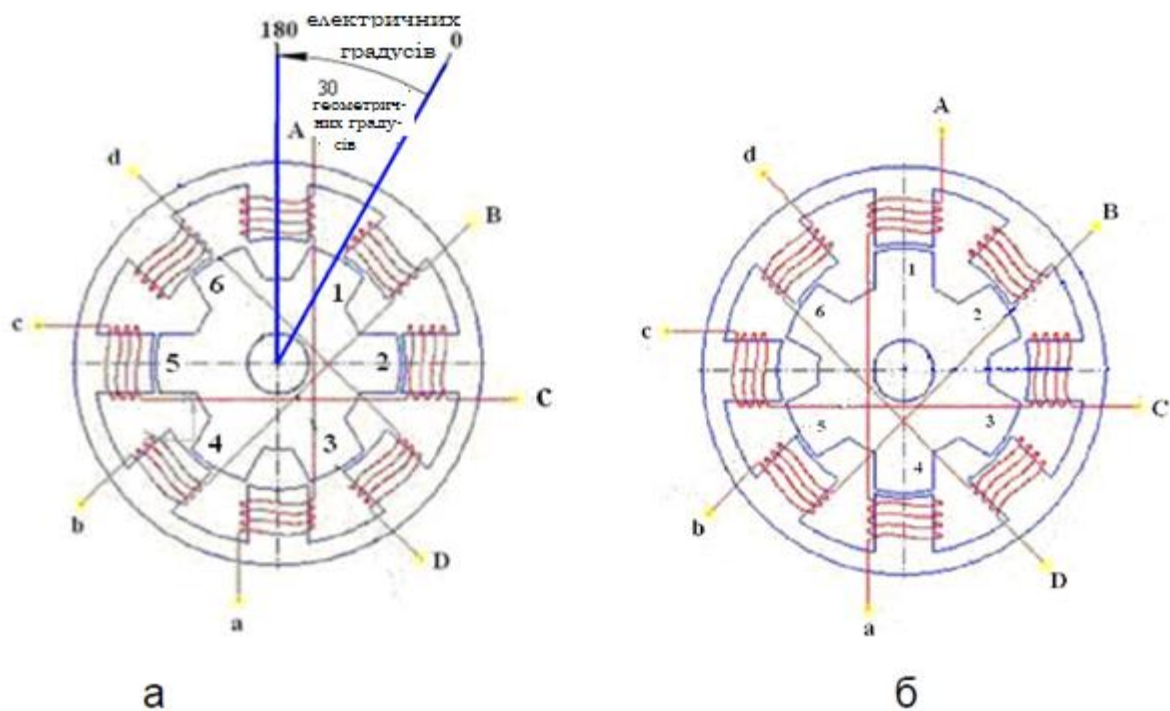


Рисунок 2.3 – Конструкція чотирифазного ВІД
із співвідношенням чисел пазів 8/6

- а) – у неузгодженому положенні щодо зубців фази А;
- б) – у узгодженому положенні щодо зубців фази А.

Зазвичай вентильний реактивний двигун має три або більше фаз. Проте існують також спеціальні конструкції з двома або навіть однією фазою. Для переходу в необхідний момент, машина зазвичай обладнана датчиком положення ротора. Також існують методи управління без використання датчика, які базуються на струмі статора або крутному моменті.

2.3 Переваги та недоліки ВІД

Перевага реактивного двигуна полягає у тому, що втрати виникають лише в нерухомому статорі, що дозволяє легко охолоджувати його ззовні.

Конструкція двигуна не вимагає обмоток на роторі та постійних магнітів, а це свідчить про можливість створення простої і надійної конструкції. Таким чином, реактивні двигуни з відповідною конструкцією швидко реагують на короткочасні навантаження.

Завдяки відносно простій конструкції ротора, що не має котушок або спеціальних матеріалів (відсутні постійні магніти і рідкісні елементи), ротор може бути міцним і надійним. За відповідної конструкції допускається перевищення швидкості.

Головним недоліком реактивного двигуна є пульсуючий момент, який крутить, що особливо критично, якщо кількість полюсів статора є невеликою. Інші недоліки включають радіаційні пульсуючі сили між ротором і статором, які чинять навантаження на підшипники та є причинами відносно високого рівня шуму.

Крім того, як і в асинхронних машинах, для створення обертового поля потрібен реактивний струм. Цей реактивний струм призводить до підвищення загальної потужності електронних перетворювачів. Складна реалізація системи керування є ще одним фактором, що ускладнює використання реактивних двигунів.

3. КЕРУВАННЯ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНИМ ДВИГУНОМ

Типова система приводу вентиляно-індукторного електродвигуна (ВІД) включає три основні компоненти: силовий електронний перетворювач, логічну схему управління та вентиляно-індукторний електродвигун.

3.1 Система керування ВІД

Вентильно-індуктивні машини, як правило, функціонують з регульованою швидкістю. На рисунку 3.1 представлено схему регулювання. Силова частина включає джерело, перетворювач та саму машину. Для вимірювання зазвичай використовуються датчик положення ротора та датчик струму обмотки фази.

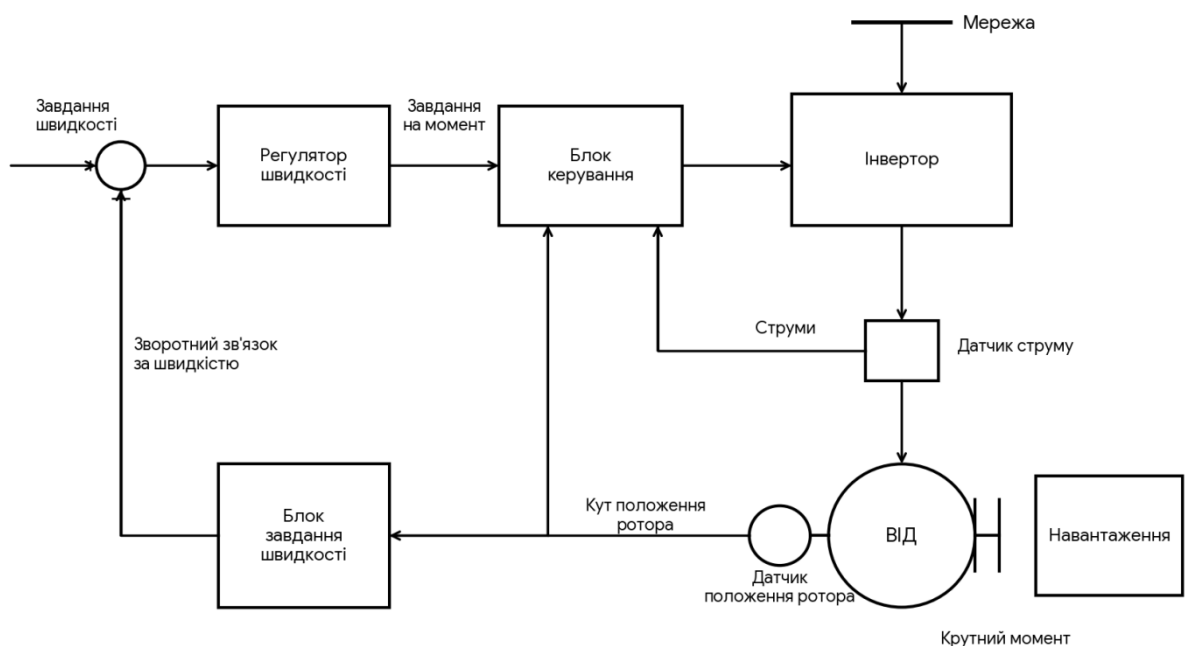


Рисунок 3.1 – Схема ВІД із системою регулювання швидкістю

Кут повороту визначає швидкість обертання. Значення, яке задає відхилення регулювання, формує заданий крутний момент (під час дрейфу або гальмування). Але на відміну від звичайних приводів, у підпорядкованому

ланцюгу управління струмом крутний момент не можна безпосередньо регулювати, оскільки струм не є прямим індикатором крутного моменту. Замість цього, момент обертуті тільки опосередковано впливає на амплітуду струму (в нижньому діапазоні обертів, імпульсний режим) і кути перемикавання (особливо на вищих обертах, блоковий режим).

Тому необхідну інформацію слід зберігати у цифровій пам'яті та витягувати для управління перетворювачем відповідно до поточного робочого стану (в залежності від швидкості обертання та навантаження). У найпростішому варіанті датчик ротора може бути представлений як оптичний датчик, який відстежує ротор.

Одна із можливих конструкцій ВІД з трьома фазами 6/4 показана на рисунку 3.2.

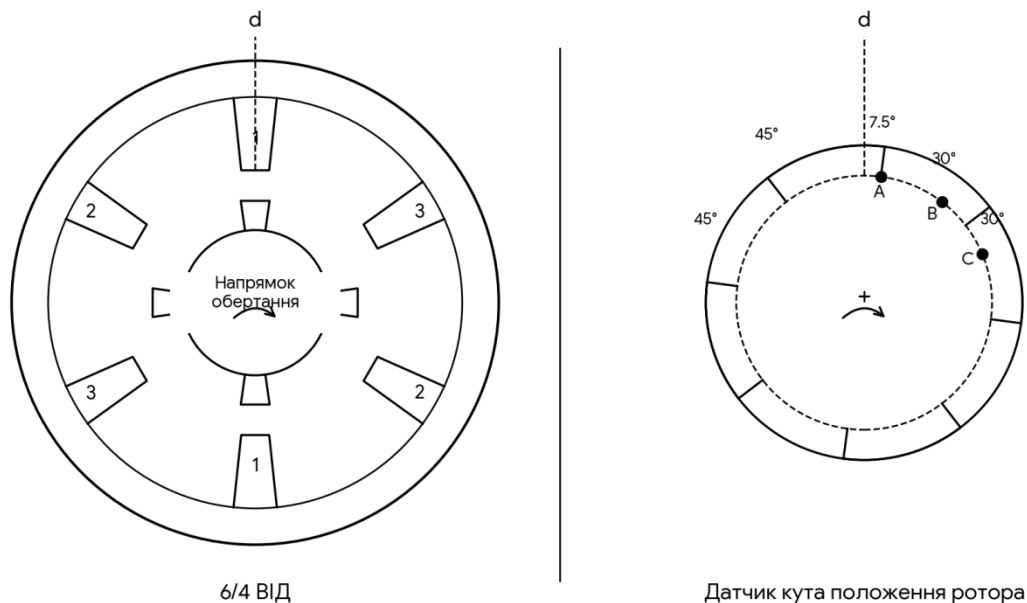


Рисунок 3.2 – Проста конструкція датчика положення ротора

Диск енкодера складається з чотирьох зубців та чотирьох зазорів однакової довжини (45°). Три світлові бар'єри А, В, С розміщені на відстані 30° (електричний 120°) по колу. Задня кромка вирівняна зі зміщенням $7,5$ (електричне 30) у положенні d обмотки 1.

Завдання управління ВІД полягає у розподілі сигналів управління, які подаються на обмотки статора в необхідній послідовності, а також у включенні та відключенні обмоток у строго визначені моменти часу в залежності від положення ротора.

Таблиця 3.1 - Ілюстрація обертання ротора ВІД (за годинниковою стрілкою)

Фаза ВІД	Етапи провороту ротору												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13...24
А				6-3				5-2				1-4	
В			1-4				6-3				5-2		
С		2-5				1-4				6-3			
Д	3-6				2-5				1-4				
	1/6 оберту			1/6 оберту			1/6 оберту						
	1/4 оберту				1/4 оберту								
	1/2 оберту												

Частота обертання ротора залежить від:

1. Сили магнітного тяжіння, отже, залежать від струму обмоток;
2. Гальмівного моменту, що прикладається до ротора. Для стабілізації частоти обертання ротора n в усіх діапазонах робочих моментів навантаження на валу необхідна зворотний зв'язок (ЗЗ) за частотою обертання ротора. Зміна частоти обертання досягається регулюванням струму, що подається до обмоток.

Отже, для управління комутаторами ВІД необхідно:

- сформувати циклограму комутації обмоток з функцією оптимізації кутів включення та відключення;
- організувати ЗЗ для стабілізації частоти обертання ротора в усіх робочих діапазонах моментів навантаження на валу;
- здійснити формування струму в обмотках;

- вибрати оптимальну для цього ВІД силову схему комутатора;
- організувати канал зв'язку з пультом налаштування (ПН) для завдання уставок, зміни режимів функціонування та індикації поточних параметрів.

3.2 Визначення кутів комутації ВІД

Визначення кутів комутації для досягнення максимальної потужності на валу в усіх діапазонах швидкостей.

Щоб виявити кути комутації, які забезпечують максимальний крутний момент на валу та потужність для кожної швидкості. Далі необхідно досягти сполучення з оптимальним положенням та номінальним струмом:

$$\Psi_{min} = L_{min} \cdot I_{НОМ}$$

Цей магнітний зв'язок має бути досягнутий у момент, коли індуктивність починає зростати. Тоді час, необхідний для досягнення наростання потоку при подачі напруги ВСС, визначається співвідношенням потоку та напруги ВСС з урахуванням падіння напруги на активному фазному опорі. Падіння напруги на активному фазному опорі є незначним (в порівнянні з напругою DCB), а сила струму зростає, тому це значення можна апроксимувати середнім значенням, що дозволяє визначити час:

$$t_{вмик} = \frac{\Psi_{min}}{U_{DC} - \frac{I_{НОМ}R}{2}}$$

Цей час можна виразити через кут випередження комутації, який змінюватиметься разом зі швидкістю обертання електродвигуна:

$$\theta_{вмик} = \omega_{ел} t_{вмик}$$

Вираз наведено для режиму переривчастого струму, але струм не обов'язково може бути нульовим, коли потрібно знову активувати фазу, щоб досягти номінального струму до початку області зростання індуктивності. Тоді кут випередження повинен відстежувати поточне значення потокозчеплення фази

$$\Theta_{\text{вмик}} = \omega_{\text{ел}} \frac{\Psi_{\text{min}} - \Psi}{U_{DC} - \frac{(I_{\text{ном}} + i)R}{2}}$$

Оскільки під час роботи фази відбувається зміна потоку, цей кут постійно варіюється, але в певний момент він перевищує поточний кут, і фаза повинна бути активована. У такому випадку максимальний кут випередження комутації не повинен перевищувати межі точки А (рис. 6).

Вимкнення фази має відбуватися при мінімальному куті, що відповідає початку зони максимальної індуктивності (точка С на рис. 6). У цьому випадку фазний струм повинен знизитися до 0 до початку області з зменшеною індуктивністю, інакше виникне тенденція до збільшення струму в генераторному режимі, що призведе до значного зростання гальмівного моменту. Формула для розрахунку кута відсічення фази відносно точки В на рисунку 3.3

$$\Theta_{\text{вимк}} = \omega_{\text{ел}} \frac{L_{\text{min}}(i - I_{\text{sat}})}{U_{DC} + \frac{(i + I_{\text{sat}})R}{2}}$$

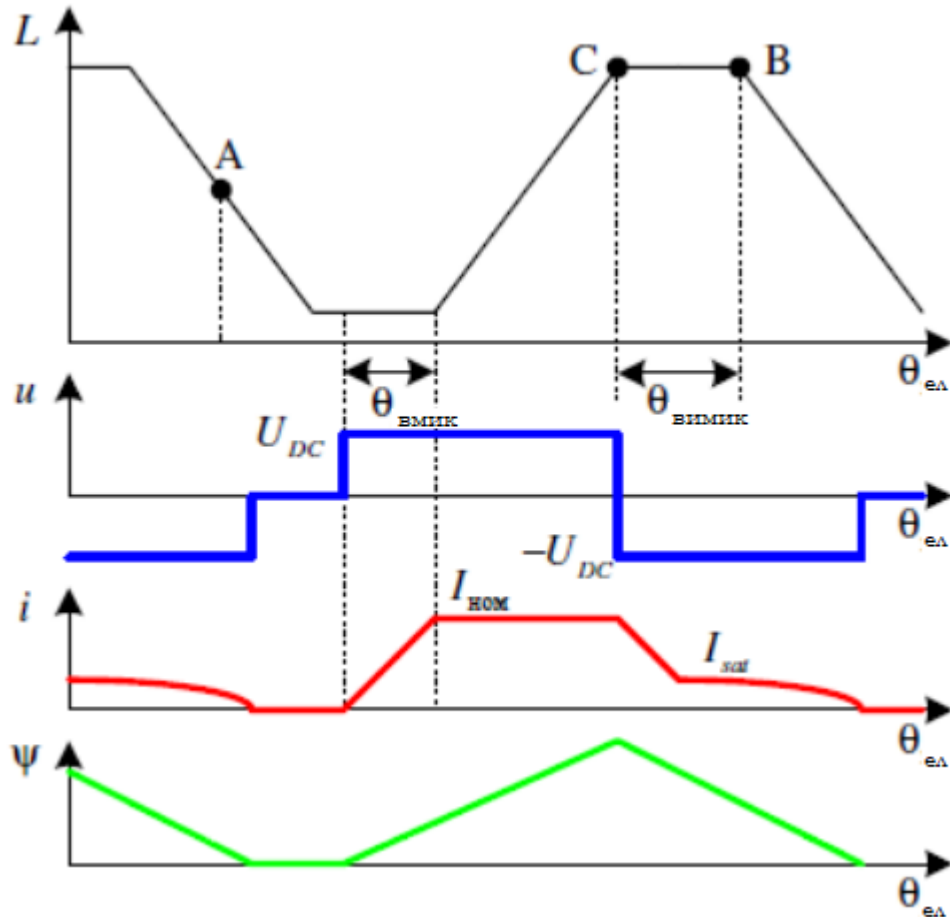


Рисунок 3.3 – Пояснення до кутів комутації

Крім того, ширина зони перемикання фаз повинна бути обмежена, і в статичному стані вона не повинна перевищувати 180° . Можливе незначне перевищення для компенсації падіння напруги на активному опорі обмотки.

3.3 Моделювання ВІД у пакеті Matlab

Модель ВІД 8/6, створена в середовищі Matlab / Simulink, представлена на рисунку 3.4.

Розроблено додаткові елементи управління з використанням ПІ регулятора для покращення продуктивності вентиляно-індукторного двигуна.

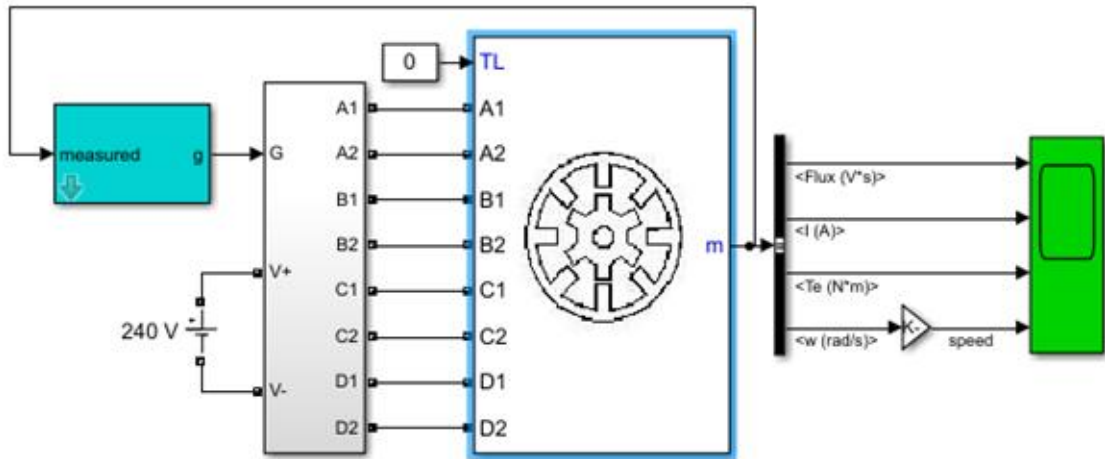


Рисунок 3.4 – Модель ВІД 8/6 у пакеті Matlab

Потоки чотирьох фаз статора представлені на рис. 3.5. Індукція потоку досягає насичення в момент, коли швидкість стає сталою. На початку, під час запуску двигуна, він споживає значний струм, що пропорційний крутному моменту.

Результати моделювання

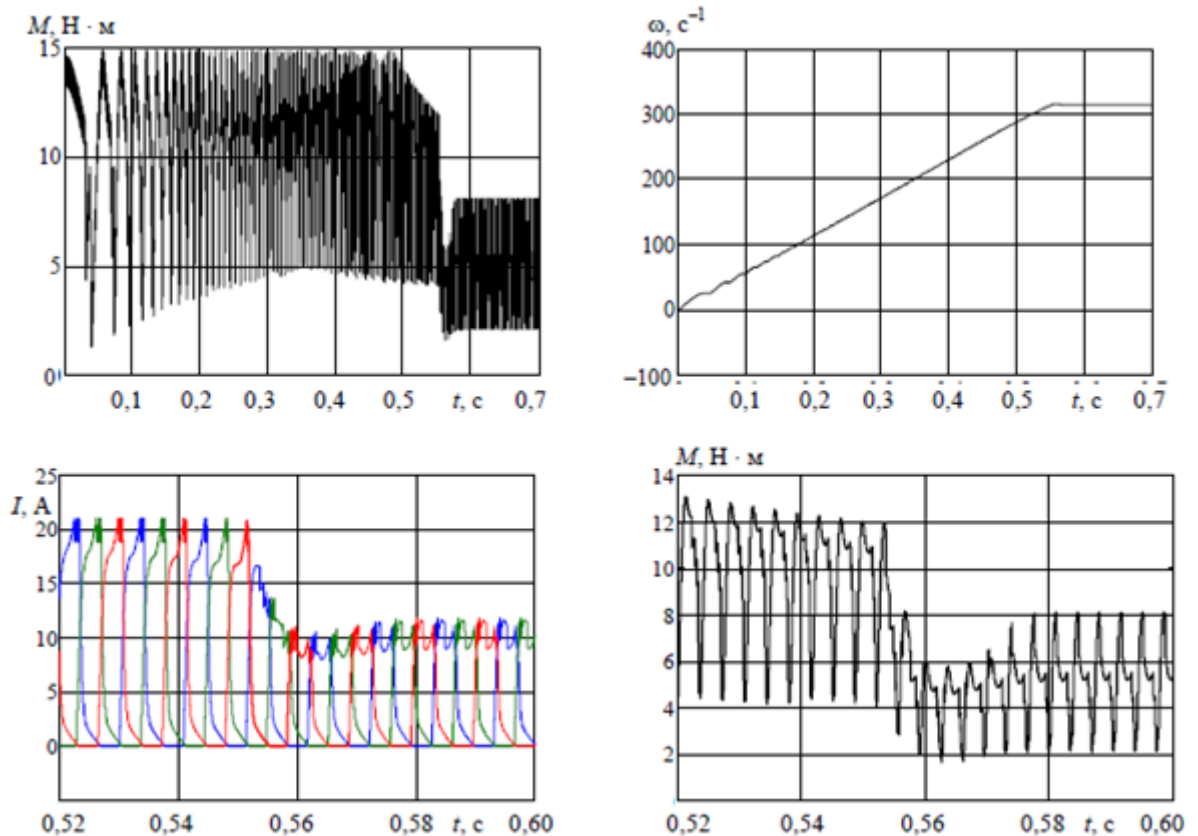


Рисунок 3.5 – Графіки перехідних процесів ВІД

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Задачі розділу

Праця на підприємствах міського електротранспорту є ризикованою та потребує особливої зосередженості, адже роботи часто проводяться під напругою, в умовах інтенсивного дорожнього руху, незалежно від сезону та погоди.

Невідворотним кроком у запобіганні нещасним випадкам та професійним хворобам на виробництві є ефективне впровадження заходів з охорони праці, що є прямою відповідальністю керівників підприємства.

З метою посилення безпеки робочого процесу, законодавством України, зокрема Законом «Про охорону праці», визначено ключові засади державної політики у цій сфері [21].

Окрім нормативних документів, створено та впроваджено специфічні правила й нормативи стосовно безпеки праці та промислової гігієни під час виконання певних завдань. Ці документи є обов'язковими для комунальних підприємств міського електротранспорту.

Головним призначенням розроблених у цьому розділі дій є забезпечення безпечного пересування транспортних засобів, а також пішохідних переходів. Це, своєю чергою, гарантує безпечне перевезення пасажирів, а також сприятливі умови праці для водіїв та ремонтного персоналу на маршруті.

4.2 Аналіз умов праці та виявлення небезпечних та шкідливих виробничих факторів на обраному об'єкті.

Тролейбус є видом міського електричного транспорту, який становить потенційну небезпеку для пішоходів та інших транспортних засобів і може стати причиною дорожньо-транспортної пригоди.

У межах бакалаврської роботи об'єктом аналізу є робоче середовище (РС), що справляє певний вплив на діяльність водія. Під час руху за маршрутом водій зобов'язаний дотримуватися ПДР. Зупиняючись на регульованому перехресті, тролейбус опиняється в оточенні інших транспортних засобів, що очікують дозволу на рух. Під час проміжних тактів світлофора автомобілі виділяють значну кількість вихлопних газів, які проникають у кабінку водія та салон, спричиняючи підвищену запиленість і загазованість повітря.

Оскільки РС функціонує цілодобово, кабінка водія та салон піддаються впливу перепадів температур. Крім того, робота в нічний час призводить до недостатнього освітлення робочого місця водія. Натомість робота в сонячну погоду супроводжується надмірною яскравістю світла, що спричиняє короткочасне засліплення водія.

Під час руху тролейбуса водій піддається впливу вібрації, що передається через кермо, педалі, сидіння тощо. Крім того, на нього діє підвищений рівень шуму, спричинений зносом підшипників у процесі експлуатації та неточністю збірки вузлів під час ремонту.

Тролейбус належить до об'єктів підвищеної небезпеки через наявність високої напруги, під дією якої можуть опинитися водій чи пасажери, а також через виникнення струмів витоку, що впливають на інших учасників дорожнього руху.

Під час роботи на лінії водій відчуває динамічні перевантаження, зумовлені вібрацією рухомого складу та коливаннями тіла. Також на

нього діє гіподинамічне навантаження, пов'язане з обмеженістю рухів на робочому місці. Окрім фізичних факторів, водій постійно перебуває у стані психоемоційного напруження, оскільки зобов'язаний одночасно стежити за дорожньою обстановкою та забезпечувати безпечну посадку й висадку пасажирів.

Окрім того, протягом зміни водій докладає значних фізичних зусиль для керування тролейбусом. Робота у таких умовах створює серйозне фізичне та моральне навантаження на організм водія.

Результати аналізу технічних процесів виявили такі небезпечні та шкідливі фактори [21]:

1) Фізично небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- підвищений вміст пилу та газів у повітрі робочої зони.
 - високий рівень шуму на робочому місці.
 - надмірна яскравість освітлення.
 - рухомі машини та механізми.
 - висока напруга в електричному колі, що може призвести до ураження електричним струмом.
 - значні відхилення температури повітря робочої зони від норми (як підвищення, так і зниження).
 - високий рівень вібрації на робочому місці.
 - недостатнє освітлення робочої зони.
- 2) Психофізіологічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:
- фізичне перевантаження ;
 - нервово-психологічне перевантаження.

4.3 Розробка організаційних та технічних заходів для створення безпечних умов праці на маршрутах тролейбусу

З депо тролейбуси вирушають згідно з установленим графіком. Виїзд машин, не передбачених розкладом, здійснюється виключно за погодженням зі старшим (центральним) диспетчером.

Повинен бути дотриманий час і напрямок руху, вказані в графіку, або ж час, визначений черговим диспетчером з випуску. Не дозволяється випускати з депо тролейбус, якщо у його книзі відсутній підпис майстра, що засвідчує справність транспортного засобу та усунення виявлених несправностей.

Водій не має права виїжджати на маршрут, якщо тролейбус не відповідає Правилам технічної експлуатації (ПТЕ).

Перед тим, як рушити з гаража, кожен тролейбус має пройти приймання водієм згідно з інструкцією для водіїв тролейбусів. Документами, що дозволяють транспортному засобу покинути територію депо та виїхати на маршрут, є: подорожній лист, засвідчений диспетчером з випуску, і бортовий журнал, який, зі свого боку, підписує майстер. Цим останнім підтверджується, що тролейбус у належному технічному стані та готовий до роботи на лінії.

Під час виїзду з депо водій зобов'язаний ретельно протестувати роботу всіх гальмівних систем, переконатися у справності механізму кермового управління, ефективності роботи генератора, а також у плавній роботі тролейбуса без сторонніх звуків або стукоту. Перевірка справності компонентів і механізмів, які безпосередньо впливають на безпеку руху, має проводитися без пасажирів на спеціально визначеній ділянці дороги, відповідно до встановленого наказу.

На горизонтальній ділянці дороги з асфальтовим покриттям, під час екстреного гальмування, гальмівний шлях будь-якого типу порожнього

тролейбуса, що рухається зі швидкістю 30 км/год на початку гальмування, не повинен перевищувати 11 метрів.

Якщо водій виявить будь-які несправності, які створюють небезпеку для дорожнього руху, він зобов'язаний негайно зупинити троллейбус. Після цього він мусить повідомити про проблему відповідного працівника служби руху або депо та діяти згідно з їхніми інструкціями.

Під час виконання нульового рейсу, водій троллейбуса мусить здійснювати зупинки на всіх визначених пунктах, призначених для висадки та посадки пасажирів.

Коли троллейбус виходить з депо на маршрут, це відбувається таким чином: спочатку він прибуває на кінцеву зупинку, звідти розпочинає свій перший рейс, а потім робить один повний зворотний шлях.

В усіх моделях троллейбусів кабіна водія сконструйована як окремий простір. Вона має достатньо місця, щоб забезпечити комфортне робоче місце для водія, а також для розміщення всієї необхідної апаратури, пристроїв опалення та вентиляції.

Робота водія класифікується як така, що належить до першої категорії ваги. Це зумовлено тим, що його діяльність не передбачає регулярних фізичних навантажень, підняття чи перенесення важких предметів, що призводить до витрат енергії до 172 Дж/сек (або 150 кал.).

Цей показник враховується при визначенні нормативних значень температури та вологості повітря. Відтак, для даної категорії, рекомендована температура в кабіні водія становить 19-25 °С, а відносна вологість повітря не має перевищувати 75%.

Кабіну водія слід забезпечити належним освітленням. Панель керування, де розміщені вимірювальні прилади, має бути достатньо освітленою.

Скло кабіни водія, як переднє, так і бічне, мусить бути оснащено обігрівачами. Ці пристрої мають гарантувати належний рівень видимості, навіть коли температура зовні сягає 30 °С.

Вікна тролейбуса, включно з віконною стінкою, комплектуються ущільнювачами. Їх призначення – запобігати деренчанню скла, а також надійно захищати салон від потрапляння вологи та пилу. Скло, встановлене в кабіні водія, зобов'язане забезпечувати чітке бачення дороги, не спотворюючи при цьому зображення. Для протирання переднього скла передбачено склоочисник.

На вітровому склі кабіни розташовані світлофільтри, які оберігають зір машиніста від яскраві випромінювання Сонця.

Крісло машиніста мусить мати можливість регулювання в горизонтальному та вертикальному напрямках, а також за нахилом спинки. Воно повинно бути оснащено м'якою підкладкою, спинкою з повітропроникного матеріалу та пристроєм для гасіння вібрацій.

Педалі керування машиною мусять мати рифлену поверхню, що запобігає зісковзуванню стоп машиніста.

З метою контролю за тим, як пасажери сідають і виходять зі зчленованого транспортного засобу на зупинках, а також для спостереження за рухом автомобільного транспорту по обидва боки кузова, збоку кабіни та ззовні корпусу розміщуються два дзеркала заднього виду, а додатково одне дзеркало встановлюється всередині кабіни водія.

Експлуатація тролейбусів на маршруті суворо заборонена, якщо виявлено хоча б одну з наступних неполадок.

Система гальмування:

- Несправність одного з типів гальм.

- Електропневматичне гальмо не здатне зупинити тролейбус у межах встановленої довжини гальмівного шляху.

Гальмівний шлях порожнього тролейбуса різних моделей на горизонтальній ділянці дороги із сухим асфальтовим покриттям, у разі екстреного гальмування (коли одночасно спрацьовують електрична та механічна гальмівні системи) зі швидкості 30 км/год, не повинен перевищувати 11 метрів.

- гальмівна система, що використовується для зупинки (ручне гальмо), не здатна утримати тролейбус на максимальному дозволеному ухилі в 80°С.

- важіль ручного гальма не має фіксатора;

- манометри пневматичної гальмівної системи не функціонують;

- гальмівна педаль працює із затримкою.

Система керування:

- загальний люфт рульового колеса перевищує 12° при прямолінійному напрямку руху керованих коліс;

- у роботі рульового керування спостерігаються сторонні звуки при обертанні;

- кріплення рульового механізму ослаблене або пошкоджене;

- спостерігається витік мастила з корпусу рульового механізму.

Колеса та гума:

- Пошкодження, ослаблення або відсутність хоча б одного болта чи гайки, що фіксують колеса.

- На передніх колесах встановлені шини, відновлені за іншою категорією ремонту.

- Залишкова висота протектора менше 2 мм.

- Розрив або відшарування протектора.

- Тиск у шинах не відповідає встановленим стандартам.

- Несправні стопорні кільця або їх погане кріплення на обідку колеса.

Карданний привід:

- ослаблення кріплення і посадки фланців на валах тягового двигуна та редуктора;

- зазор в карданному шарнірі і радіальний зазор в лицьовому з'єднанні підвищують допустиму норму.

Центральні та колісні редуктори:

- зламана або ослаблена хоча б одна шпилька кріплення кришок фланця та картера;

- витікання мастила краплями;

- наявність сторонніх шумів в роботі редуктора.

Пневматичне обладнання:

- час наповнення пневматичної системи стиснутим повітрям від нульового до робочого тиску перевищує встановлену норму;

- регулятор тиску не підтримує робочий тиск у пневматичній системі у межах 4,5 - 6,5 кгс/см для ЗіУ;

- при роботі компресор перегрівається і його функціонування супроводжується підвищеним шумом;

- не працює гальмівний кран;

- не справний манометр;

- запобіжний клапан не має пломби.

Дахове обладнання:

- дефекти струмознімачів, що спричиняють відрив струмознімних головок від контактних проводів;

- наявність тріщин, викривлень на штангах;

- затримки струмознімачів при русі в горизонтальній та вертикальній площинах;

- поломки головок струмознімачів;

- недоліки пристрою, що забороняють падіння головок струмознімача при від'єднанні від штанги, якщо це передбачено конструкцією;
- несправна або невірно налаштована система обмеження підйому та спуску штанги;
- не налагоджені натяжні пружини струмознімача на контактний провід на висоті підвісу дроту 5,5 м не відповідає для тролейбуса.
- дефекти шнурів струмоприймачів, кілець та ізоляторів;
- пошкодження або відсутність на даху доріжки електроізоляційного матеріалу.

Електричне устаткування:

- порушення роботи тягових двигунів, допоміжних електричних машин, пускорегулюючої та захисної апаратури, допоміжних кіл, акумуляторної батареї;
- струм витoku перевищує 3 мА;
- не працює світлова та звукова сигналізація;
- не працюють контрольно-вимірювальні прилади.

Зовнішні освітлювальні прилади:

- не працюють або не відрегульовані фари;
- не запалюються стоп-сигнали, поворотники, габаритні вогні, групи освітлення.

Кузов:

- порушено міцність підніжок та поручнів;
- пошкоджено ізоляційне покриття поручнів та підніжок;
- порушено цілісність дверей, люків, підлоги;
- дефекти на склі кабіни водія та на дзеркалах заднього виду, що спотворюють або погіршують огляд;
- не функціонує гучномовець;
- протікає дах;

- знос штока зчіпного пристрою більш 10 мм;
- несправний буксирувальний пристрій;
- тріщини, розломи в елементах зчіпного пристрою;
- вигин штока зчіпного пристрою більш 7 мм.

Окрім перевірки перелічених вище вузлів та деталей тролейбусу, водій повинен оглядати його зовнішній вигляд, чи немає вм'ятин та подряпин, чистоту в салоні; наявність та цілісність плафонів освітлення.

Якщо в процесі приймання тролейбусу водій виявить хоча б одну з перелічених вище несправностей, виїжджати на лінію він не має права і повинен негайно повідомити про це диспетчера по випуску.

Повернення тролейбусу з лінії в депо виконується за дозволом чергового лінійного диспетчера з відповідною відміткою в шляховому листі.

Повертаючись в депо, водій повинен спереду кабіни, праворуч, встановити трафарет „Тролейбус прямує в депо”, везти тролейбус строго в напрямку, вказаному в розкладі руху, зупиняти його на всіх зупинках, робити посадку та висадку пасажирів незалежно від того, по якому маршруту проходить тролейбус, та прибути в депо в час, вказаний в розкладі.

Якщо тролейбус спрямований до депо з технічними несправностями, то водій повинен робити всі зупинки, але не брати пасажирів. У цьому випадку водій повинен виставити спереду кабіни, праворуч, трафарет „Тролейбус технічно несправний”, увімкнути ближнє світло фар, повідомити, що тролейбус прямує в депо і пасажирів не бере, рухатись зі швидкістю, яка забезпечуватиме безпеку руху.

У випадку, коли водій здає тролейбус з пошкодженнями (вм'ятини, подряпини, розбите скло), диспетчер або технічний працівник повинні по

всіх пошкодженнях скласти акт із зазначенням дефектів, а водій повинен цей акт підписати з детальним поясненням даного випадку.

Після дорожньо-транспортної пригоди в поїзному журналі тролейбусу водій повинен зробити відповідний запис, який затверджується підписом лінійного працівника події.

Тролейбус з лінії знімають та після прибуття у депо оглядають комісією у присутності водія зі складанням відповідного акту технічного стану тролейбусу.

Випуск такого тролейбусу на лінію виконується після усунення неполадок, старший майстер робить відповідний запис у поїзному журналі, затверджує його особистим підписом.

Повернення тролейбусу з лінії у депо до закінчення часу роботи за розкладом може бути дозволено начальником маршруту або лінійним диспетчером з письмовою відміткою у шляховому листі про причину заходу.

Повертаючись у депо, водій повинен на останній перед депо зупинці звільнити тролейбус від пасажирів.

При русі по території депо водій повинен користуватися пневматичним приводом механічного гальма і вести тролейбус зі швидкістю не більше 5 км/год.

В'їхавши на територію депо водій повинен:

- здати тролейбус приймальнику, майстру або диспетчеру депо;
- поставити тролейбус на місце, вказане приймальником; вимкнути автоматичний вимикач (рукоятку взяти з собою), мотор-компресор, високовольтне та низьковольтне освітлення і опалення, склоочисник, зумер;
- загальмувати тролейбус ручним гальмом;
- встановити реверсну рукоятку контролера у нейтральне положення;

- підкласти башмак під колеса тролейбусу;
- відняти струмоприймач від контактних проводів;
- злити конденсат з резервуарів, а взимку заправити пневмосистему антифризом;
- зачинити вікна салону та двері тролейбусу;
- записати у книгу тролейбусу заяву на усунення неполадок, які виникли за час роботи тролейбусу на лінії;
- віддати диспетчеру шляховий лист, книгу тролейбусу, розклад руху і на зберігання в інструментальну комплект інструментів, радіоустановку, комплект плавких запобіжників та запасних вставок головок струмоприймачів, діелектричні рукавички, комбіновані рукавиці, жилет, рукоятку автоматичного вимикача.

До в'їзду у оглядову канаву водій повинен подати звуковий сигнал, переконатись, що у канаві немає людей, а також предметів, які заважатимуть руху і що у проїмах воріт немає людей або будь-яких предметів, які зменшують габарити.

Під'їжджати до тролейбусів, які стоять на відстійній ділянці, дозволяється не ближче, ніж на 1,5 м, у цеху на оглядовій канаві - 1 м.

Про всі події на лінії або особливі випадки з тролейбусом на своїй зміні, а також про виявлення неполадок контактної мережі, лінійних споруджень та дороги водій повинен повідомити диспетчеру депо.

Підготовлений до експлуатації тролейбус має бути забезпечений [26]:

- 1) вуглекислим або порошковим вогнегасником;
- 2) скринькою із сухим піском;
- 3) передніми та задніми маршрутними показниками, а також бічними трафаретами;
- 4) правилами користування тролейбусом;
- 5) гучномовним радіопристроєм;

б) протидкатним упором (башмаком);

7) знаком аварійної зупинки.

Водій повинен мати:

- ручку реверсу, де це передбачено конструкцією;

- комплект головних запобіжників та запасні вставки головок струмоприймачів;

- діелектричні рукавиці;

- комбіновані рукавиці;

- жовтогарячий жилет;

- книгу тролейбусу;

- путівковий лист;

- розклад руху.

Присутність небезпечної для життя високої електричної напруги вимагає обов'язкового дотримання правил електробезпеки, тому що неправильне поводження з електричними приладами, апаратами та джерелами електричної енергії може призвести до ураження електричним струмом та виходу з ладу електричного обладнання. Тому варто дотримувати наступні основні правила безпеки :

1) не робити будь-яких втручань як відкритими руками, так і за допомогою інструмента та сторонніх предметів в електрообладнання при встановлених на контактні проводи струмоприймачах. Це стосується не тільки електрообладнання на 550 В, але й електрообладнання на 24 В;

2) контроль струму витоку варто робити щодня при КТП, причому його розмір не повинен перевищувати 3 мА. При вимірі струму витоку всі високовольтні та низьковольтні ланцюги тролейбуса повинні бути включені, а струмоприймачі підключені до плюсового проводу контактної мережі. Одну клему міліамперметра приєднують до зачищеної або нікельованої частини корпусу тролейбуса, а іншу — до

заземленого металевого предмета. Забороняється використовувати в якості заземлювача елементи опалювальної, водопровідної або газової системи.

3) бажано встановити на тролейбусі спеціальний пристрій постійного контролю струму витоку;

4) не допускати постановку в електричні ланцюги високої та низької напруги некаліброваних плавких вставок;

5) ретельно стежити і виявляти обриви проводів та інші порушення цілісності електричних ланцюгів;

6) строго виконувати Правила техніки безпеки на міському електротранспорті.

В усіх видах ремонту, у тому числі на оглядовій канаві, в першу чергу необхідно забезпечити електробезпечність.

Перед початком огляду тролейбуса або виконання робіт з технічного обслуговування слід:

- від'єднати струмоприймачі від контактної мережі і завести їх під дуги штанги;
- загальмувати тролейбус, встановивши при необхідності під колеса противідкатні упори;
- переконатися в наявності вільного доступу в канаву, справності сходів;
- при знятті окремих агрегатів і деталей, що вимагають фізичних зусиль, а також при незручностях у роботі, пов'язаних зі зніманням агрегатів і деталей, рекомендується застосовувати спеціальні пристосування (знімачі), що забезпечують безпечну роботу;
- при розбиранні та збірці ресор варто користуватися слюсарними лещатами або іншими спеціальними затискними пристроями;

працюючи молотком або кувалдою при рубанні, карбуванні металу і подібних роботах, потрібно надягати захисні окуляри та вживати всіх заходів до того, щоб не травмувати себе і людей, що поруч знаходяться, відлітаючими частинками.

При заряджанні акумуляторних батарей необхідно дотримувати наступні заходи безпеки:

1) зарядку робити в чистому, добре вентиляваному приміщенні, в якому категорично забороняється палити і запалювати відкритий вогонь; при зарядці, коли відбувається інтенсивне газовиділення, і при роботі з лужним електролітом необхідно захищати очі, шкіру й одяг від потрапляння лугу. Для цього необхідні захисні окуляри, гумові рукавички та фартух;

2) при потрапленні електроліту на шкіру її варто промити водою, потім 5%-вим розчином борної кислоти і знову водою. При потрапленні електроліту в очі необхідно ретельно промити їх водою і негайно звернутися до лікаря.

При проведенні технічного обслуговування забороняється:

- виконувати мийні роботи на тролейбусі з підключеними до контактної мережі струмоприймачами;
- допускати при виконанні мийних робіт потрапляння води на електрообладнання, розташоване на тролейбусі;
- виконувати вологе прибирання в пасажирському приміщенні і кабіні водія з подачею води під тиском;
- виконувати знімання або підключення струмоприймачів до проводів контактної мережі при включеному блоці керування штанговловлювачем;
- робити роботи під тролейбусом, що не поставлений на козли, не вивішений на домкратах або не встановлений над оглядовою ямою;

- робити запуск тягового електродвигуна у випадку, якщо під тролейбусом в оглядовій канаві знаходяться люди;
- робити демонтаж кожного з вузлів пневматичної системи тролейбуса або ослаблення з'єднань пневматичної системи при наявності тиску повітря в повітряних резервуарах;
- робити накачування шин стисненим повітрям поза спеціально призначеним для цього пристосуванням, при цьому варто переконатися, що запірне кільце цілком лягло в замковий паз диска;
- робити зварювальні роботи без індивідуального відключення люмінесцентних світильників, блоку керування тиристорно-імпульсної системи керування тяговим двигуном і перетворювача, блоку керування штанговловлювачами,
- піднімати, знімати, встановлювати і транспортувати важкі (вагою більш ніж 16 кг) агрегати, вузли і деталі тролейбуса без використання підйомно-транспортних механізмів з допоміжними вантажозахоплювальними пристроями

ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі на тему «Впровадження вентиляно-індукторних двигунів у допоміжні системи автомобілів» розглянуто можливість використання вентиляно-індукторного двигуна в якості приводного в допоміжних системах транспортних засобів.

Проведено аналіз основних сучасних допоміжних систем, які використовуються на транспортних засобів. Прийнято рішення про використання ВІД в компресорній системі підкачки шин і системи конденсування.

Розроблена імітаційна модель надає можливість досліджувати електромагнітні та електромеханічні процеси у вентиляно-індукторному приводі, а також аналізувати різні методи керування.

Поліпшення продуктивності ВІД досягається за рахунок використання ПІ регулятора. Завдяки цим методам можна проаналізувати широкий спектр кутів включення та вимкнення, замість традиційних двох значень для цих кутів.

Запропонована схема управління не лише підвищує ефективність ВІД, але й забезпечує широкий вибір значень струму.

В роботі розглянуто питання Охорони праці для водія тролейбуса.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лук'янов М.О. Вентильно-індукторний двигун з покращеними тяговими характеристиками / М.О. Лук'янов // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Нові рішення в сучасних технологіях = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : New solutions in modern technology : зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2020. – № 2. – С. 23-29.
2. Karii M. O., Pavliuchenko V. L., Zhuikov V. Y., Verbytskyi Y. V., Yamnenko Y. S. Elektropyvid z ventylno-induktornym elektrodvyhunom, [Electric drive with switched-reluctance motor], Opis do patentu na korisnu model` Ukrayina] Description of the utility model patent Ukraine] UA 127633 U, 2018.
3. Deng X., Mecrow B., Gadoue S. & Martin R. A torque ripple minimization method for six-phase switched reluctance motor drives, XXII International Conference on Electrical Machines (ICEM), 2016, doi:10.1109/icelmach.2016.7732641.
4. Denisov Y., Gorodny A., Gordienko V., Yershov R., Stepenko S., Kostyrieva O. & Prokhorova A. Switch operation power losses of quasi-resonant pulse converter with parallel resonant circuit, *IEEE 36th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, 2016, p. 327–332. doi:10.1109/elnano.2016.7493078.
5. Cao G., Blaabjerg F. Advanced Control Strategies for Switched Reluctance Motor Drives: A Review. *IEEE Transactions on Power Electronics*. 2020. Vol. 35, No. 11. P. 12013–12027.
6. Ievgen Verbytskyi, Oleksandr Bondarenko, Dmitri Vinnikov. Multicell-type current regulator based on Cuk converter for resistance welding, *IEEE 58th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, Riga, 2017, p. 1– 6, doi:10.1109/RTUCON.2017.8124844.

7. Galkin I., Blinov A., Verbytskyi I., Zinchenko D. Modular Self-Balancing Battery Charger Concept for Cost-Effective Power-Assist Wheelchairs, *Energies* 2019, V. 12, iss. 1526, doi: 10.3390/en12081526.
8. Ткачук В. І. Теорія та синтез вентильних двигунів постійного струму : монографія. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2011. 288 с.
9. Miller T. J. E. Switched Reluctance Motors and Their Control. Oxford : Magna Physics Publishing; Clarendon Press, 1993. 200 p.
10. Круглов С. О. Автоматизований електропривід : підручник. Київ : Каравела, 2018. 412 с.
11. Бур'яковський С. Г., Захарченко В. П., Маслій А. С., Маслій А. С. Вентильно-індукторний електропривід стрелочного переводу моношпального типу. *Електротехніка та комп'ютерні системи*. 2014. № 15 (91). С. 138–142.
12. Козаченко В. П., Лашкевич М. М. Вентильно-індукторний електропривід з незалежним порушенням для тягового застосування. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. Одеський національний політехнічний університет, 2015. Вип. 19. С. 45–52.
13. Sun X., Sun L., Chang J. Speed control of switched reluctance motor via fuzzy fast terminal sliding-mode control. *Computers & Electrical Engineering*. 2019. Vol. 80. Art. 106472.
14. Прахт І. О., Дмитрієвський В. О. Вентильно-індукторні приводи: проектування, керування та оптимізація : монографія. Харків : Вид-во НТУ «ХП», 2018. 240 с.
15. Gieras J. F. *Advancements in Electric Machines (Power Systems)*. New York : Springer, 2010. 336 p.
16. Печериця, Ю. С. Тяговий електропривід на базі вентильного двигуна : магістерська робота ; спец. 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / Ю. С. Печериця ; наук. кер. І. І. Надточій. – Миколаїв : НУК, 2024. – 76 с.

17. Клепков О. В., Борисенко Р. В. Аналіз топологій силових напівпровідникових перетворювачів для вентильно-індукторних електроприводів. Електротехніка і Електромеханіка. 2020. № 3. С. 28–34.

18. Коломієць О. В., Петренко Ю. М. Моделювання динамічних режимів вентильного індукторно-реактивного електропривода в пакеті MATLAB/Simulink. Електротехніка та комп'ютерні системи. Одеса, 2022. № 36 (112). С. 18–25.

19. Мазуренко Л. І., Джура О. В. Дослідження цифрової системи векторного керування вентильно-індукторним електроприводом. Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. Київ : ІЕД НАНУ, 2021. Вип. 58. С. 41–48.

20. Шевченко А. О. Розробка мікропроцесорної системи керування тяговим вентильно-індукторним електроприводом : магістерська дис. / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Київ, 2023. 102 с.

21. Серіков Я.О. Основи охорони праці. Навч. посібник. – Харків, ХНАМГ, 2007. – 227 с.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
Імені О.М. Бекетова
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ, ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТА ТРАНСПОРТНОЇ
ІНФРАСТРУКТУРИ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ІЛЮСТРАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ ДО
БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на тему:

ВПРОВАДЖЕННЯ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНИХ ДВИГУНІВ У ДОПОМІЖНІ СИСТЕМИ
АВТОМОБІЛІВ

Виконав: студент групи ET 2022-1
спеціальність 141 - Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Електромеханіка

Станіслав ІШЕНІН

Харків - 2026

ПЕРЕЛІК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ:

1. Титульний лист
2. Перелік графічного матеріалу
3. Мета та задачі проектування
4. Допоміжні системи безпеки та контролю Транспортних засобів
5. Автомобільні компресори
6. Різні конфігурації ВІД
7. Конструкція чотирифазного ВІД із співвідношенням чисел пазів 8/6
8. Схема ВІД із системою регулювання швидкості
9. Конструкція датчика положення ротора
10. Обертання ротора ВІД (за годинниковою стрілкою)
11. Графіки до впливу кутів комутації
12. Модель ВІД 8/6 у пакеті Matlab
13. Графіки перехідних процесів ВІД
14. Висновки

Об'єктом розробки та дослідження є допоміжні системи автомобіля

Метою бакалаврської роботи є підвищення ефективності та надійності роботи компресора системи підкачки шин і кондиціонування повітря

3

Допоміжні системи безпеки та контролю Транспортних засобів



ЕЛЕКТРОННА ГАЛЬМІВНА СИСТЕМА (EBS) І MAN BRAKEMATIC

- Збільшує інерційність під час екстреного гальмування
- Забезпечує відстань до автомобіля в разі втрати зчеплення з дорогою
- Підтримує постійну швидкість під час руху під гору



СИСТЕМА ДОПОМОГИ ПІД ЧАС РУХУ В ЗАТОРАХ MAN

- Автоматично керує переключенням, гальмуванням і керуванням
- Утримує дистанцію між транспортними засобами під час затримки і руху в частині зупинки, а також сповільнює, щоб авто зупинилося у безпеці
- За необхідності гальмує до зупинки, а також автоматично стартує під час миттєвого звільнення



СИСТЕМА СТЕЖЕННЯ ЗА ДОРОЖНЬОЮ РОЗМІТКОЮ (LDW)

- Допомагає водію для надійного утримання авто у смугі
- Адаптивна система попередження



АСИСТЕНТ ЗМІНИ СМУГИ РУХУ MAN

- Контролює смуги руху праворуч і ліворуч від автобуса
- Попереджає про небезпечні ситуації під час зміни смуги руху
- 3-ступеневе попередження: світлодіодні модулі на передній стійці кабіни



СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО ЕКСТРЕННОГО ГАЛЬМУВАННЯ (EBA)

- Попереджає водія на ситуації, що потребують екстреного гальмування
- Автоматично зупиняє транспортний засіб у небезпечних ситуаціях
- Попереджає авто, що рухається позадку за допомогою аварійної сигналізації



СИСТЕМА ДОПОМОГИ ПІД ЧАС ПОВОРОТУ MAN

- Контролює важкодоступні зони з боку пасажирів
- Попереджає про небезпечні ситуації під час повороту
- 3-ступеневе попередження: світлодіодні модулі на передній стійці кабіни

4

Автомобільні компресори



Компресор пневмопідвіски Mercedes

5

Різні конфігурації ВІД



а)



б)



в)

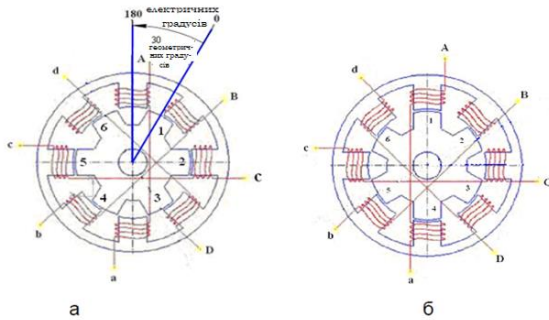


г)

- а — однофазна ІМ конфігурації 2/2;
- б - двофазна ІМ конфігурації 4/4;
- в - трифазна ІМ конфігурації 6/4;
- г - чотирифазна ІМ конфігурації 8/6

6

Конструкція чотирифазного ВІД із співвідношенням чисел пазів 8/6



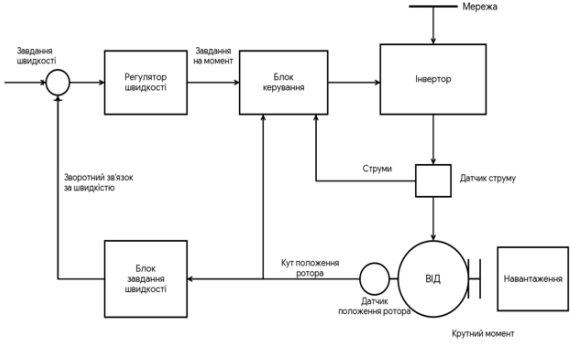
а

б

- а) — у неузгодженому положенні щодо зубців фази А;
- б) — у узгодженому положенні щодо зубців фази А.

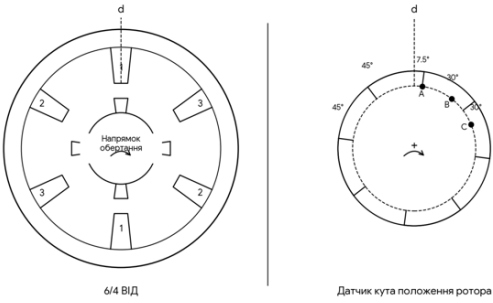
7

Схема ВІД із системою регулювання швидкістю



8

Конструкція датчика положення ротора



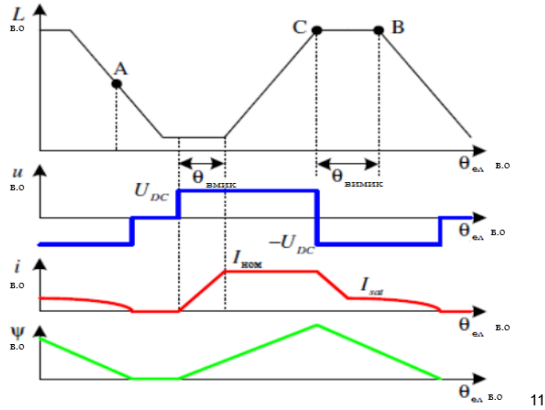
9

Обертання ротора ВІД (за годинниковою стрілкою)

Фаза ВІД	Етапи провороту ротору												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13...24
A				6-3				5-2				1-4	
B			1-4				6-3				5-2		
C		2-5				1-4				6-3			
D	3-6				2-5				1-4				
	1/6 оберту			1/6 оберту			1/6 оберту						
	¼ оберту				¼ оберту								
	½ оберту												

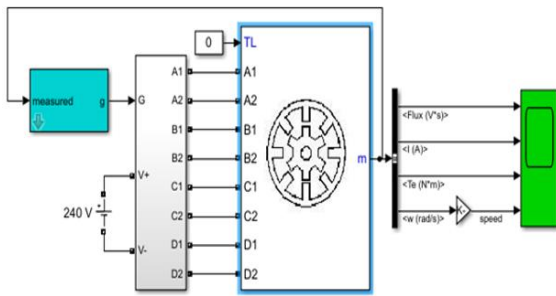
11

Графіки до впливу кутів комутації



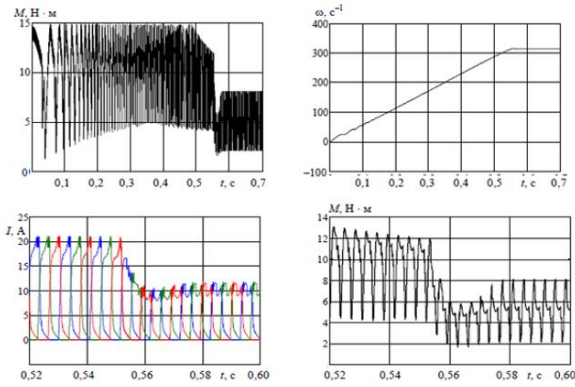
11

Модель ВІД 8/6 у пакеті Matlab



12

Графіки перехідних процесів ВІД



13

ВИСНОВКИ

- В бакалаврській роботі на тему «Впровадження вентиляльно-індукторних двигунів у допоміжні системи автомобілів» розглянуто можливість використання вентиляльно-індукторного двигуна в якості приводного в допоміжних системах транспортних засобів.
- Проведено аналіз основних сучасних допоміжних систем, які використовуються на транспортних засобах. Прийнято рішення про використання ВІД в компресорній системі підкачки шин і системи конденсації.
- Розроблена імітаційна модель надає можливість досліджувати електромагнітні та електромеханічні процеси у вентиляльно-індукторному приводі, а також аналізувати різні методи керування.
- Поліпшення продуктивності ВІД досягається за рахунок використання ПІ регулятора. Завдяки цим методам можна проаналізувати широкий спектр кутів включення та вимкнення, замість традиційних двох значень для цих кутів.
- Запропонована схема управління не лише підвищує ефективність ВІД, але й забезпечує широкий вибір значень струму.
- В роботі розглянуто питання Охорони праці для водія тролейбуса.