

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

**ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДЛЯ
ПЕРЕОБЛАДНАННЯ АВТОМОБІЛЯ В ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ**

Виконав студент IV курсу, групи ЕТс-41
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Паловці Д.Ф.
(прізвище та ініціали)

Керівник _____
(підпис) Коваль В.П.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____
(підпис) Вакуленко О.О.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____
(підпис) Тарасенко М.Г.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(підпис) _____
(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Тарасенко М.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)
студенту Паловці Даніелю Федоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування електроприводу для переобладнання
автомобіля в електромобіль

Керівник роботи к.т.н., доц. Коваль В.П.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «01» лютого 2022 року № 4/7-76

2. Термін подання студентом завершеної роботи до 14.06.2022

3. Вихідні дані до роботи Визначити тип тягового електродвигуна та силового
перетворювача із системою керування для електромобіля на основі автомобіля Mazda CX-5

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

1. Аналіз тягового електричного приводу.

2. Система керування електричним приводом.

3. Визначення необхідної потужності тягового електричного двигуна за заданим циклом руху.

4. Розрахунок номінальної потужності електродвигуна та силового перетворювача.

5. Вплив вихідних даних на потрібну потужність тягового електродвигуна.

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

1. Двигуни постійного та змінного струму.

2. Принципова електрична схема імпульсного перетворювача.

3. Принципова електрична схема інвертора.

4. Характеристики автомобіля Mazda CX-5.

5. Цикл руху US06.

6. Розрахунок номінальної потужності двигуна.

7. Діаграми циклу руху.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТс–41. - Т. : ТНТУ, 2022.

Стор. 66; рис. 30; табл. 9; креслень (презентацій) —; джерел 11.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Проектування електроприводу для переобладнання автомобіля в електромобіль».

Метою роботи є проектування та аналіз роботи тягового електроприводу для автомобіля.

У ході виконання випускної кваліфікаційної роботи проведено дослідження електроприводу електромобіля, що проектується на базі автомобіля Mazda CX-5.

Розглянуто електропривід як загалом, так і зокрема, тобто взаємодія елементів приводу, як єдиної системи, та його окрема робота. Серед різних типів електромеханічних та електричних перетворювачів проведено вибір певного тягового електричного двигуна та силового перетворювача.

Для визначення електричної потужності приводу проведено розрахунки аналітичним методом та за допомогою циклів руху. За розрахованими значеннями визначаються реальні моделі тягового електродвигуна та силового перетворювача.

Проведено дослідження впливу вихідних даних на параметри електромобіля, таких як, наприклад, споживана електрична потужність. До початкових даних можна віднести цикли руху, масу електромобіля та профіль шляху.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОПРИВІД, ЕЛЕКТРИЧНИЙ ДВИГУН, СИЛОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Тяговий електричний привід.....	8
1.2 Привід постійного струму	9
1.3 Привід змінного струму.....	10
1.4 Висновки до розділу	16
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	
2.1 Вибір і обґрунтування електричного перетворювача у електроприводі	17
2.1.1 Імпульсне регулювання тягового електродвигуна	17
2.1.2 Імпульсний напівпровідниковий регулятор	19
2.2 Висновки до розділу	30
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Розрахунок необхідної потужності тягового електродвигуна	31
3.1.1 Вихідні дані.....	31
3.1.2 Аналітичний метод.....	32
3.1.3 Визначення необхідної потужності тягового електричного двигуна за заданим циклом руху	37
3.1.4 Розрахунок номінальної потужності електродвигуна та силового перетворювача.....	43
3.2 Дослідження впливу вихідних даних на потрібну потужність тягового електродвигуна	46
3.3 Дослідження різних циклів руху	47
3.4 Дослідження впливу маси електромобіля	52
3.5 Дослідження впливу профілю шляху.....	55
3.6 Висновки до розділ	58

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	
4.1 Особливості електротравматизму, електричний струм як чинник небезпеки	60
4.2 Допомога при ураженні електричним струмом в електроустановках напругою до 1000 В	61
4.3 Сигнально-попереджувальні пристрої і фарбування обладнання	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	67

ВСТУП

Актуальність теми. Звичайний автомобіль має двигун внутрішнього згоряння великих розмірів та багатоступінчасту трансмісію, що дозволяє йому ефективніше передавати енергію на провідну вісь. У електромоторі не йде згоряння, тобто він менше гріється під час роботи. Тому його можна розкручувати до вищих оборотів. Тобто при рівних із ДВЗ габаритах він буде в рази потужнішим. Електричний мотор добре «тягне» у всьому діапазоні обертів, так що йому досить простої та компактної одноступінчастої трансмісії.

Блок мотор-трансмісія у електромобіля такий малий, що його можна "саджати" прямо на провідну вісь, "закласти в підлогу". Йому не потрібно виділяти місце під капотом, чому при тій же загальній довжині машини електромобіль завжди виходитиме просторіше, ніж звичайно. Так, акумулятор електроавто набагато більше бензобака. Проте батарею можна зробити такою плоскою, що вона поміститься в площину днища машини, практично не забираючи місця у салону.

Вага акумуляторів (полтонни для «дальнобійного» електромобіля) теж, як не дивно, не є великою проблемою. При рекуперативному гальмуванні електромотор працює як генератор, віддаючи струм назад у батарею. Отже, зайві енерговитрати на розгін додаткової півтонни ваги майже повністю компенсуються за такого гальмування.

Ще один плюс електричного автомобіля – потужність моторів. У ДВЗ-авто більший двигун, як правило, піднімає витрату енергії на кілометр. У електромобіля з дуже потужним двигуном рекуперативне гальмування повертатиме більше енергії, ніж у такої ж машини з мотором слабше. Тобто електроавто "від природи" тяжіють до більшої потужності, ніж ДВЗ-мобілі.

Мета кваліфікаційної роботи: проектування та аналіз роботи тягового електроприводу для автомобіля.

Відповідно до даної мети ставляться такі **завдання:**

1. Провести аналіз тягових електродвигунів, способи керування ними за допомогою силових перетворювачів на базі тиристорів та IGBT-транзисторів.
2. Розрахувати необхідну електричну потужність електродвигуна аналітичним методом, а також цикли руху.
3. Проаналізувати результати розрахунків і вибрати моделі тягового електродвигуна з силовим перетворювачем.
4. Дослідити вплив зміни вихідних даних таких як цикли руху, маса транспорту, профіль шляху, на параметри тягового електроприводу та електромобіля.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 частин, висновків та переліку посилань. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 67 арк. формату А4, графічна частина – __ аркушів презентації.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Тяговий електричний привід

Тяговий електричний привід – це сукупність електричних та механічних елементів, що дозволяє перетворювати електричну енергію на механічну та навпаки та забезпечувати рух або гальмування транспортного засобу. Структурно схему тягового електроприводу можна представити, як показано рис. 1.1:

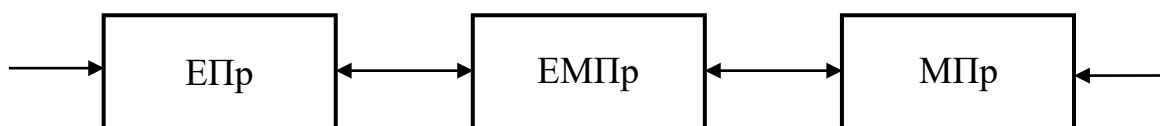


Рисунок 1.1 – Структурна схема тягового електроприводу

Основні елементи тягового електроприводу:

1) ЕПр - електричний перетворювач - комплекс пристроїв, що дозволяє подати на електромеханічний перетворювач (ЕМПр) або джерело живлення (наприклад АКБ) необхідну величину електроенергії (далі ЕЕ). На відміну від інших елементів схеми, ЕПр складається з двох елементів, які вимагають окремої уваги – система управління (далі СУ) та силовий перетворювач (далі СПр). СПр дозволяє подавати на ЕМПр або джерело живлення електричний струм необхідних параметрів, а те, які параметри повинна мати ЕЕ, задає СУ;

2) ЕМПр – електромеханічний перетворювач (тяговий електричний двигун) – машина, що перетворює електричну енергію на механічну (прямий рух транспорту) або механічну на електричну (принцип рекуперативного гальмування);

3) МПр – механічний перетворювач – система, яка здійснює передачу механічної енергії від ЕМПр до рушія (пневмокошеса, гусенична стрічка, конвеєрна стрічка та ін.) або від останнього до ЕМПр. Прикладом МПр може бути трансмісія.

Як видно із структурної схеми та опису елементів тягового електроприводу, основною перевагою використання на транспорті є можливість роботи системи у двох напрямках – можливість витратити запасену електричну енергію на механічну роботу, а також, за певних умов, перетворювати механічну енергію на електричну та запасати її. Тому взаємодія елементів рис. 1.1 зазначена в обох напрямках.

1.2 Привід постійного струму

Розібравшись із основними елементами тягового електричного приводу, необхідно розглянути дві різні системи приводу, а саме електропривід постійного та змінного струмів.

Відмінність даних типів стосується лише пристрої ЕПр та ЕМПр, а особливе значення являє собою саме електромеханічний перетворювач – тяговий електродвигун (ТЕД).

У приводі постійного струму в ролі ТЕД на транспорті виступають двигуни постійного струму (далі ДПС). Серед ДПС класифікація відбувається на кшталт магнітної системи статора [1]:

- 1) із постійними магнітами;
- 2) з електромагнітами:
 - a) із незалежним збудженням;
 - b) з послідовним збудженням;
 - c) з паралельним збудженням;
 - d) зі змішаним збудженням.

Принцип роботи двигуна постійного струму заснований на законі Ампера (дія сили на провідник зі струмом, що знаходиться в магнітному полі). Найпростіший вид ДПС представлений на рис. 1.2. У ролі провідника зі струмом виступає котушка (обмотка ротора), через яку протікає струм, що подається за допомогою щітково-колекторного вузла. При протіканні струму через котушку, що знаходиться у постійному магнітному полі, відбувається її

обертання. Через те, що на кільці чергується полярність, виходить односпрямоване обертання котушки (струм лівої сторони завжди буде від нас, а правої на нас). Однак при такій роботі котушка нерівномірно обертатиметься, оскільки при її вертикальному положенні сила не буде спрямована перпендикулярно до обертання. Для забезпечення рівномірної роботи необхідно додати кілька додаткових котушок зі своїми парами колекторних кілець (пластин). Рівномірність руху пропорційна числу котушок.

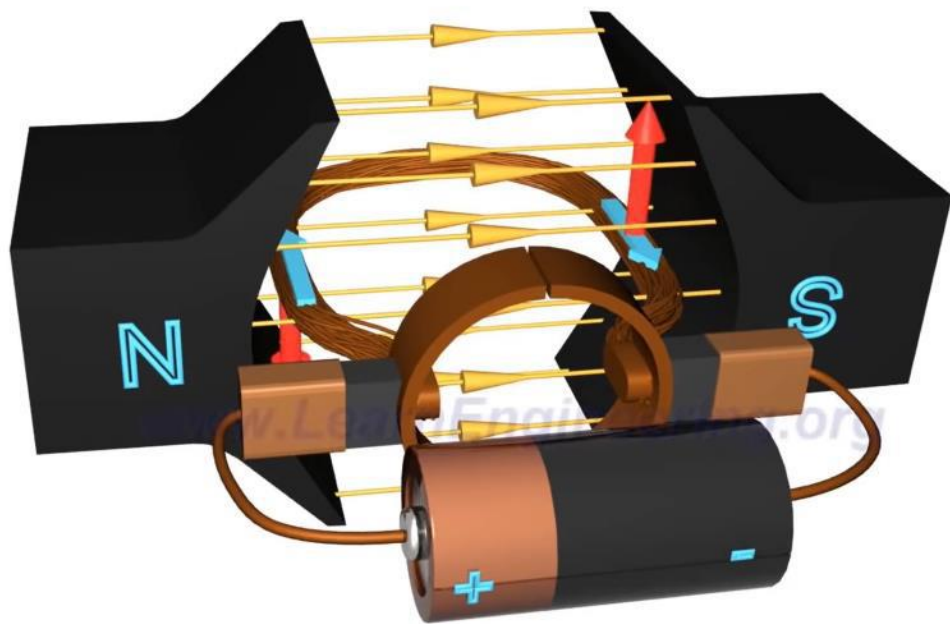


Рисунок 1.2 – Найпростіший вид двигуна постійного струму

1.3 Привід змінного струму

Для приводу змінного струму основними типами ТЕД є синхронний (далі СД) та асинхронний (далі АД) електродвигуни. У свою чергу АД ділиться на два основні типи: двигун із короткозамкненим та з фазним роторами. СД також можна розділити на дві великі групи: контактні та безконтактні синхронні машини.

Принцип роботи асинхронного двигуна ґрунтується на законі Фарадея. Його роботу можна спостерігати рис. 1.3.

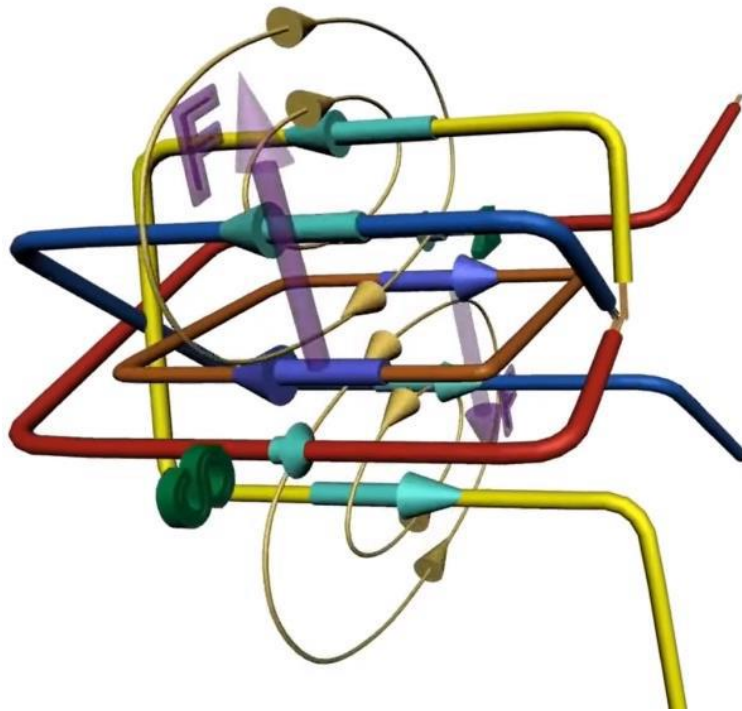


Рисунок 1.3 – Представлення статора та ротора асинхронної машини

На цьому рисунку червоний, синій і жовтий провідники є обмоткою статора, а замкнутий контур є ротором. Цей рисунок зображує роботу АД із короткозамкненим ротором. Через те, що по обмотці статора протікає змінний трифазний струм, утворюється магнітне поле, що обертається. У зв'язку з тим, що поле навколо нерухомого контуру є непостійним, в останньому наводиться ЕРС індукції згідно із законом Фарадея. Наявність ЕРС створить у замкнутому контурі перебіг струму. З дослідження принципу роботи ДПС спостерігалось утворення сили Ампера, в результаті знаходження контуру зі струмом у магнітному полі, що забезпечить обертання рамки. Розганяючись, швидкість обертання ротора буде прагнути швидкості обертання магнітного поля статора, але не буде дорівнює йому. Це пов'язано з тим, що при однакових швидкостях обертання, контур перебуватиме в нерухомому магнітному полі, відносно самого контуру, що призведе до спадання ЕРС. Але при уповільненні знову утворюється різниця швидкостей обертання магнітного поля статора та ротора (ця різниця називається ковзанням) [2]. Наявність ковзання і пояснює назву цього двигуна асинхронною.

Принцип роботи синхронної машини змінного струму заснований на взаємодії магнітного поля статора, що обертається, і постійного магнітного поля ротора. Аналіз роботи зробимо з прикладу рис. 1.4.

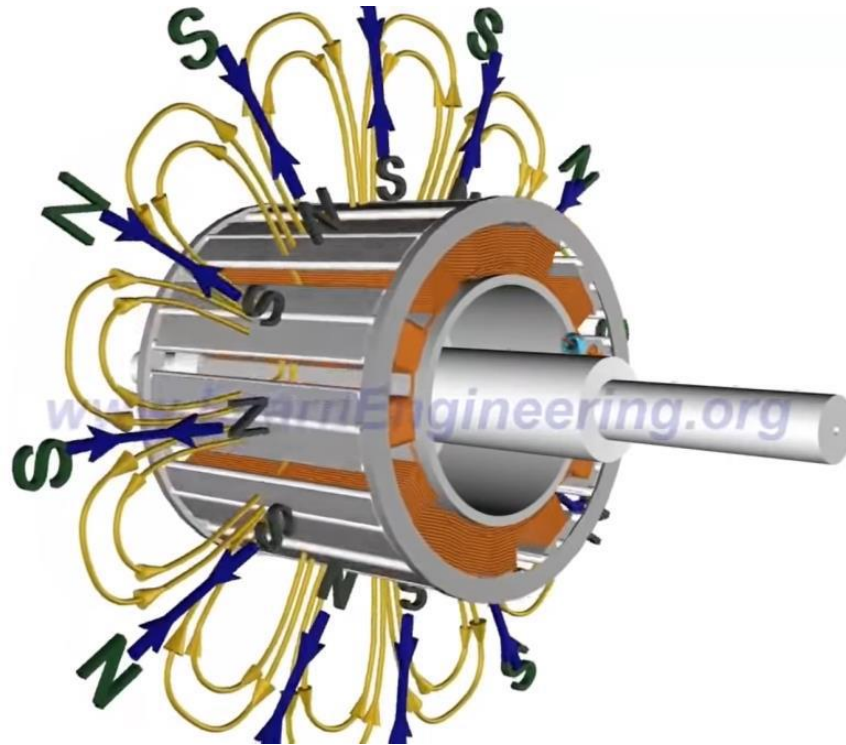


Рисунок 1.4 – Подання статора та ротора синхронної машини

Для кращого вигляду обмотка статора на рисунку не зображена, але є магнітне поле, що обертається, яке утворюється статором. Постійне магнітне поле утворюється під час подачі на обмотку ротора струму. Синхронна машина є електродвигуном без самозапуску. Це пояснюється тим, що при початку обертання ротора, яке утворюється «зачепленням» різнойменних полюсів змінного та постійного магнітних полів, відбувається швидка зміна полюсів статора. Ротор не встигає швидко набрати швидкість і замість різнойменних полів виникає взаємодія однойменних полів, що призводить до відштовхування магнітних полів. Внаслідок цього ротор гальмується. Тому з початкової позиції запустити машину не вийде. Однак це вирішується в такий спосіб. Через наявність в обмотці додаткової «білчиної» клітки відбувається запуск машини за принципом асинхронного двигуна. Таким способом вдається розігнати ротор до швидкостей, близьких до синхронних. При досягненні максимальної

швидкості обертання на обмотку ротора подається струм і відбувається зачеплення з наступною фіксацією магнітних полів ротора і статора. В результаті швидкість обертання ротора збігається зі швидкістю обертання магнітного поля статора, тобто синхронної. Тому цей тип двигуна і називається синхронним.

При виборі електричного тягового двигуна необхідно орієнтуватися на переваги і недоліки кожного з типів двигунів. При цьому необхідно враховувати вплив вибору ТЕД на електропривід в цілому.

Більшість міського електричного транспорту в Україні оснащено двигунами постійного струму. Але, незважаючи на це, вони мають більше негативних характеристик, ніж позитивних:

- наявність щітково-колекторного вузла передбачає відносно часте обслуговування, а також дбайливе ставлення до двигуна в цілому. Близько 50% [3] усіх несправностей ДПС у транспорті ґрунтується на частих відмовах щітково-колекторного вузла. При цьому термін служби вузла в середньому становить близько 15000 годин;

- у питанні ціни ДПС перестав бути набагато дешевшим варіантом, ніж АД із короткозамкненим ротором, оскільки основною проблемою двигунів змінного струму була складність у керуванні електричною машиною. Однак із появою та розвитком імпульсних систем управління привід постійного струму (ТЕД та ЕПр) на даний момент не має такої переваги. Більш складний і дорогий тяговий електричний перетворювач для приводу змінного струму, але більш дешевий тяговий електродвигун для нього;

- нижчі перевантажувальні показники. У той час як ДПС дозволяє дворазове навантаження, двигуни змінного струму можуть витримати трьох-і більш кратні;

- у технологічному виконанні тяговий електричний двигун постійного струму має складнішу конструкцію, а, відповідно, і більш технологічно складніший процес виробництва;

- ДПС має нижчий ККД, середня величина якого приблизно дорівнює

85 ... 90% (для машин середніх потужностей).

Однак двигун постійного струму має також переваги. Двигун регулюється відносно простіше, внаслідок простішого виконання силової та керуючих електричних схем. ДПС, здебільшого, мають більше низький момент інерції, через що транспорт краще показує у високодинамічному виконанні. Цей ТЕД гірший, ніж АД, нагрівається, внаслідок чого цілком достатня для двигуна природна вентиляція. Розрахунки двигуна виконувати простіше, оскільки роботи виробляються при постійному струмі.

Порівняно з ДПС та синхронними двигунами, асинхронні двигуни мають ряд значних переваг [4]:

- відсутність вузла комутації ротора з колом живлення (контактні кільця синхронної машини або щітковий вузол ТЕД постійного струму);
- менша вартість асинхронного двигуна і в порівнянні з СД, і в порівнянні з ДПС, обумовлена насамперед пристроєм ротора (для АД з короткозамкненим ротором);
- більш проста технологія виробництва двигуна;
- вищий ККД, порівняно з ДПС (рівний приблизно 90 ... 94%).

Але також асинхронний двигун має і кілька важливих негативних характеристик, до яких, в основному, відносяться:

- більше виділення теплоти в двигунах малих та середніх потужностей, що може призвести до використання додаткової системи охолодження;
- робота зі змінним трифазним струмом, через який ускладнюється можливість регулювання, тобто ускладнення силового перетворювача та системи управління;
- розрахункові завдання через змінний струм виробляються складніше.

Дані особливості були виділені для АД з короткозамкненим ротором, так як використання фазного ротору створить більше мінусів, ніж принесе плюсів. Асинхронний ТЕД із фазним ротором спочатку задумувався для можливості щодо плавного регулювання швидкості в широких межах. Але цю роботу в імпульсній системі управління виконує інвертор, а додатково виходять: - великі

масогабаритні показники; менші значення $\cos \varphi$ та ККД; наявність щіткового вузла. Виходячи з цього, найкращим варіантом є асинхронний двигун із короткозамкненим ротором.

Синхронні машини, залежно від типу, також неоднозначні. Але головними перевагами цих двигунів є [5]:

- можливість роботи при більш високих значеннях $\cos \varphi$, які можуть досягати 1, що в свою чергу означає більше значення ККД (стандартні синхронні машини мають ККД від 80 до 90 % при потужності до 100 кВт, проте СД з постійними магнітами мають ККД 95...99 %);
- велика питома потужність;
- менше (ніж у АД) значення теплових втрат, тому більшість синхронних двигунів може працювати на власному повітряному охолодженні;
- у СД на постійних магнітах відсутній щітковий вузол.

Однак, хоч синхронна машина і виявляється спочатку кращою за асинхронну, у СД є недоліки. Той самий щітково-колекторний вузол є на стандартній машині. Вартість постійних магнітів досить велика. В результаті, виходить, що синхронна машина на вигляд може бути кращим варіантом двигунів за такими характеристиками, як масогабаритні показники і ККД, але це більш витратний і в плані часу (виробництво довше і складніше за асинхронні двигуни), і в плані вартості. І, вибираючи між контактними (електромагніт) та безконтактними (постійні магніти) електричними машинами, найкращим варіантом буде синхронний двигун з постійними магнітами.

Дослідивши позитивні та негативні риси кожного типу електродвигуна, побудуємо таблицю 1.1, де представлені деякі моделі електричних машин.

Після того, як було обрано певний тип тягового електродвигуна, необхідно визначитися, яким чином відбуватиметься регулювання швидкості обертання двигуна.

Таблиця 1.1 – Порівняння електричних двигунів для електромобіля

Вид ТЕД	Назва ТЕД	Ном. потужніс ть, кВт	Напруга, В	ККД, %	$\cos\varphi$	Маса, кг
ДПС	П-92У4	75	440	88,5	-	705
	4ПН200М	75	440	91,5	-	340
АДКР*	1LE1501- 3AC03- 4AB4	75	400/690	93,7	0,84	660
	Y2-280S2	75	380/690	93,4	0,9	535
	GM2E 280S 2	75	400	93,9	0,91	512
СДПМ* *	ОРІОН-18-1-08	75	380	97,9	1	112
	LSRPM 200 L	85	380	96,2	1	175

*- асинхронний двигун із короткозамкненим ротором;

** - синхронний двигун із постійними магнітами;

***- дана серія двигунів в даний час не випускається

1.4 Висновки до розділу

1. Розгорнуто поняття тягового електроприводу електромобіля, його структурної схеми та основних елементів.

2. Проведено аналіз використання у електромобілях приводів постійного та змінного струмів. Сформульовано основні переваги та недоліки кожного з них.

3. Дослідивши позитивні та негативні особливості кожного типу електродвигуна, побудовано порівняльну таблицю, у якій представлені деякі моделі електричних машин, які доступні на ринку України.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір і обґрунтування електричного перетворювача у електроприводі

2.1.1 Імпульсне регулювання тягового електродвигуна

На даний момент, більшість систем керування двигуном транспорту представлено імпульсною системою управління, замість реостатно-контакторної системи управління. Даний перехід на імпульсну систему управління ґрунтується на безлічі важливих проблем, які вдалося вирішити, використовуючи в імпульсному регулюванні силові напівпровідникові прилади:

- вдалося скоротити елементну базу всього ЕПр, завдяки чому не тільки відбулося зменшення габаритів даного модуля приводу, але значно спростилися електричні схеми;
- використання реостатів призводило до великих теплових втрат через гасіння енергії на них;
- «відгук» такої системи управління відбувається набагато швидше, адже в реостатно-контакторній системі управління беруть участь механічні зв'язки контактів контакторів (для контакторів час замикання та розмикання становить у середньому кілька десятків мілісекунд, а для, наприклад, тиристорів час відмикання та замикання – від кількох десятих часток до кількох сотень мікросекунд);
- використання силових напівпровідникових приладів дозволяє досягти плавного регулювання швидкості двигуна, що у свою чергу приносить (наприклад, для транспорту) більш комфортне керування.

Імпульсне регулювання тягового електродвигуна засноване на подачі напруги живлення на цей самий двигун окремими імпульсами, які утворюються за рахунок використання силових напівпровідникових приладів (електронних ключів). Для дослідження принципу роботи імпульсного перетворювача розглянемо на рис. 2.1.

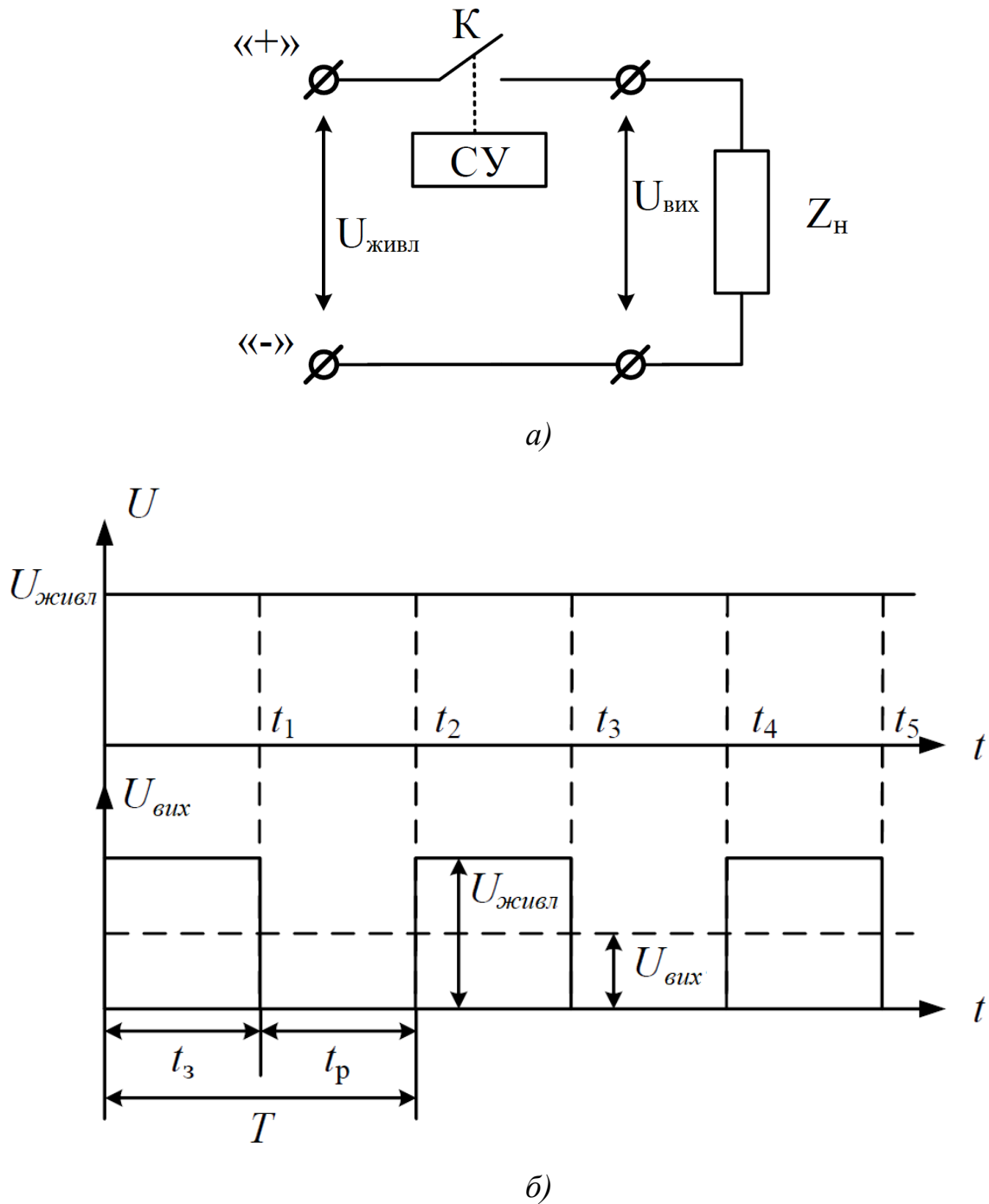


Рисунок 2.1 – Принципова електрична схема імпульсного перетворювача (а) та діаграма напруг (б)

На схемі та діаграмі вказані:

$СУ$ – система управління;

K - силовий напівпровідниковий прилад (ключ);

Z_H – навантаження (у разі можна уявити ДПС);

$U_{живл}$ – напруга живлення;

$U_{вих}$ - напруга на виході перетворювача (напруга на навантаженні);

$t_3 = t1$ – час замкненого стану ключа;

$t_p = t2 - t1$ – час розімкнутого стану ключа;

$T = t_p + t_3$ - період імпульсного регулювання.

Принцип роботи схеми у тому, що з ключа K , керованого СУ, на навантаження Z_n подається напруга. На K надходить напруга живлення $U_{живл}$, а на виході ключа (на навантаження) виходить напруга $U_{вих}$, яка автоматично регулюється за допомогою зміни часу розімкнутого t_p або замкненого t_3 стану силового напівпровідникового приладу. Визначається величина $U_{вих}$ як середня напруга за період регулювання за формулою:

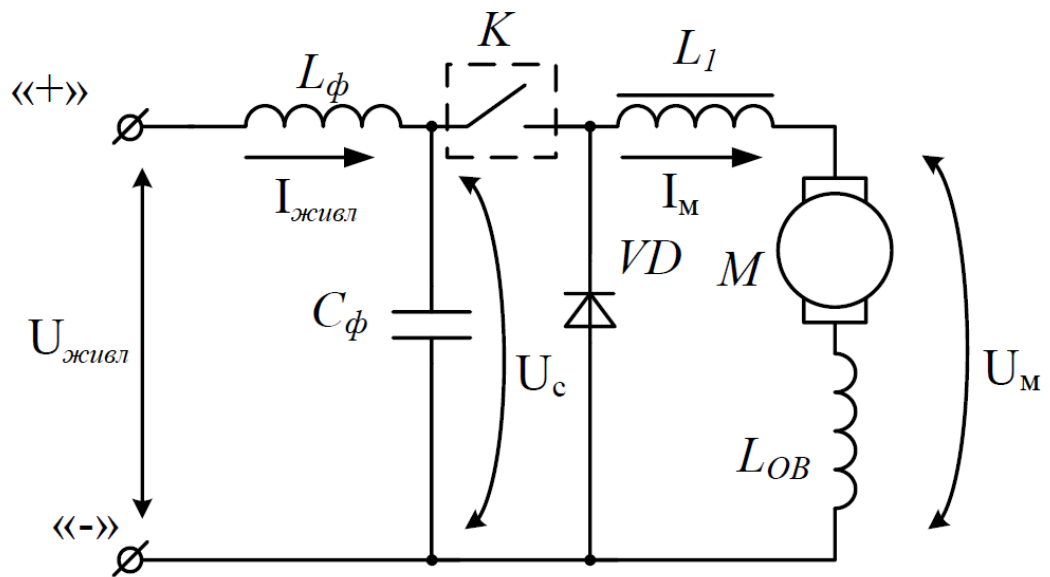
$$U_{вих} = \frac{1}{T} \int_0^{t_p} U_{живл} dt = \frac{1}{T} \cdot U_{живл} t_p = \frac{t_3}{T} \cdot U_{живл} \quad (2.1)$$

Для спрощення формули, відношення t_3/T заміняють на величину λ , яка називається коефіцієнтом наповнення.

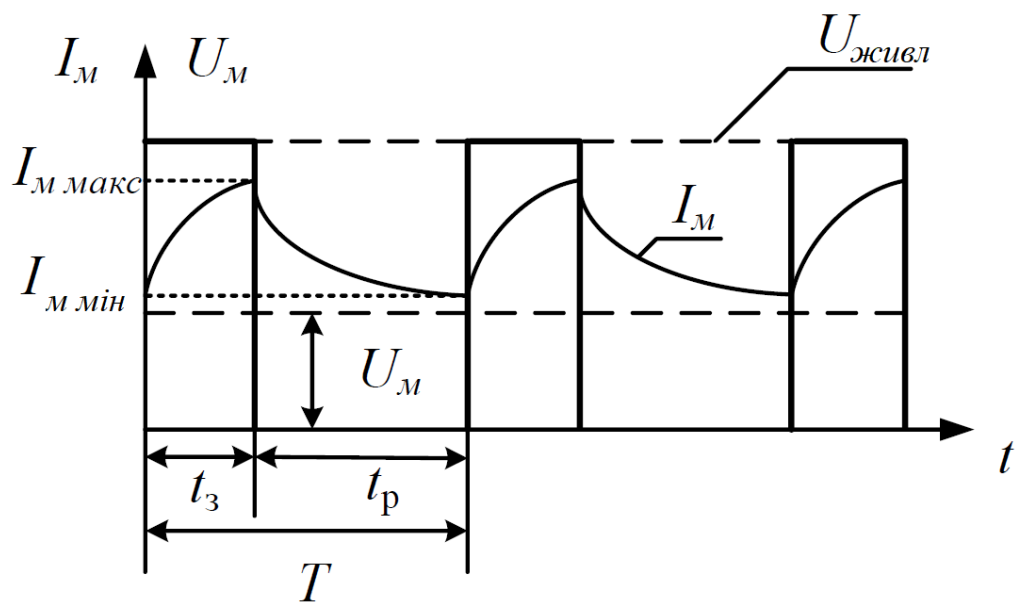
Силовий перетворювач для управління ТЕД найчастіше виготовляється на базі тиристорів або біполярних транзисторів, а саме IGBT-транзисторів (БТІЗ – біполярний транзистор із ізольованим затвором). Тобто в роботі імпульсних регуляторів використовуються або керовані повністю (транзистори), або частково керовані напівпровідникові ключі (тиристори). Але, попри їх відмінності, важливо, що їх можна однаково розглядати під управлінням приводами як постійного, так і змінного струму.

2.1.2 Імпульсний напівпровідниковий регулятор

Принцип роботи імпульсного напівпровідникового регулятора в силовому колі для керування двигуном постійного струму можна спостерігати на рис. 2.2.



а)



б)

Рисунок 2.2 – Принципова електрична схема імпульсного регулятора (а)
та діаграма струмів та напруг (б)

Схема на рис. 2.2 (а) включає: вхідний Г-подібний LC-фільтр (дросель L_{ϕ} і конденсатор C_{ϕ}), імпульсний переривник K , вихідний фільтр (дросель L_1 і зворотний діод VD), двигун постійного струму M і його обмотка збудження L_{OB} . Вхідний фільтр служить для згладжування пульсацій струму та обмеження

перенапруги на ключі К, через стрибкоподібне зростання струму. Вихідний фільтр служить також для згладжування пульсацій (L_1), але, крім цього, створює додатково контур (через зворотний діод VD), яким відбувається протікання струму через двигун при замиканні ключа К. Наявність зворотного діода обумовлено активно-індуктивним характером навантаження (крім індуктивностей) кола та електродвигун). Внаслідок її наявності, а саме індуктивності, в ланцюзі неможливе миттєве падіння значення струму,

Напруга, що прикладається до ДПС, протягом часу замкненого стану ключа t_z , визначається величиною U_c , яка приблизно дорівнює величині напруги $U_{живл}$, якщо знехтувати порівняно малим опором дроселя вхідного фільтра. За цей проміжок часу струм I_m наростає від $I_{m\ хв}$ до $I_{m\ макс}$. При цьому, крім живлення двигуна, відбувається запасання енергії в індуктивності кола, яка потім витрачається при відмиканні напівпровідникового ключа К (час t_p). У цей період періоду відбувається падіння струму I_m з величини $I_{m\ макс}$ до $I_{m\ хв}$, оскільки утворюється контур «М - LOB – VD – LI – М», і, відповідно, відбувається зниження електричної енергії на механічну роботу двигуна та подолання втрат.

Середнє значення напруги U_m визначається тим самим чином, що визначалося для схеми рис. 2.1 (а), і є напругою $U_{вих}$. Величину струму, що споживається від джерела живлення $I_{живл}$, можна знайти за рівнянням балансу енергії, що підводиться і використовується.

$$U_{живл} \cdot I_{живл} \cdot \eta_{in} = U_m \cdot I_m, \quad (2.2)$$

$$I_{живл} = \frac{I_m}{\eta_{in}} \cdot \frac{U_m}{U_{живл}}, \quad (2.3)$$

А відношення вихідної напруги перетворювача до напруги на вході перетворювача дорівнює величині коефіцієнта заповнення λ . Тоді

$$I_{живл} = \frac{I_M}{\eta_{in}} \cdot \lambda, \quad (2.4)$$

де η_{in} - ККД імпульсного переривача.

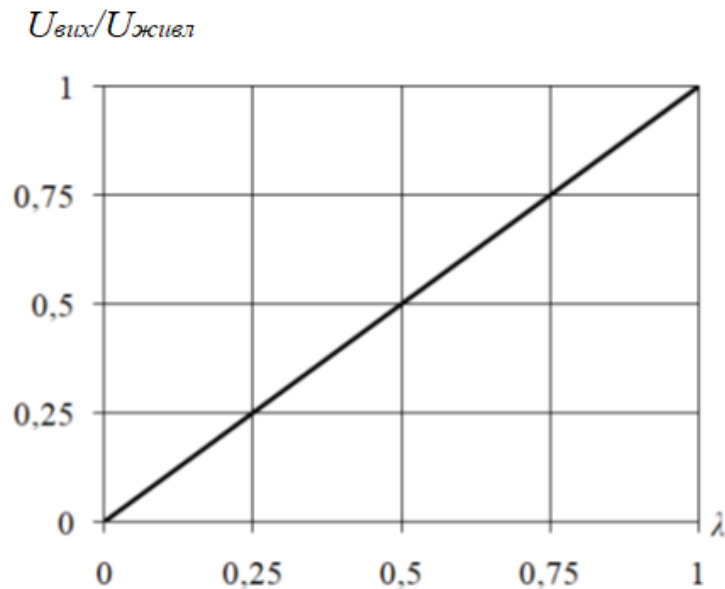


Рисунок 2.3 – Залежність відношення вихідної та напруги живлення від коефіцієнта заповнення

Залежність зміни напруги на навантаженні від коефіцієнта заповнення можна показати за допомогою графіка, зображеного рис. 2.3. Як видно на даному графіку, залежність є лінійною, а значить, змінюватиметься лінійно і швидкість транспортного засобу.

У зв'язку з цим регулювати величину напруги можна кількома способами:

1) змінюючи величину тривалості розімкнутого стану ключа при постійному періоді, тобто $t_3 = \text{var}$, $T = \text{const}$. Такий спосіб називається широтно-імпульсним регулюванням (далі ШИР);

2) змінюючи величину періоду імпульсу без зміни тривалості t_3 , тобто $t_3 = \text{const}$, $T = \text{var}$. Такий спосіб називається частотно-імпульсним регулюванням;

3) змінюючи величину T і t_3 , тобто $t_3 = \text{var}$, $T = \text{var}$. Такий спосіб називається широтночастотним або комбінованим регулюванням.

Розглянутий вище принцип регулювання двигуном постійного струму справедливий для двигунів змінного струму, за винятком того, що постійний струм, який подається джерелом живлення, необхідно перетворити на змінний трифазний струм. Для постійного струму силовий електричний перетворювач називається імпульсним регулятором (переривником), а змінного струму – інвертором.

Розглянемо принцип роботи інвертора, важливу схему якого зображено на рис. 2.4.

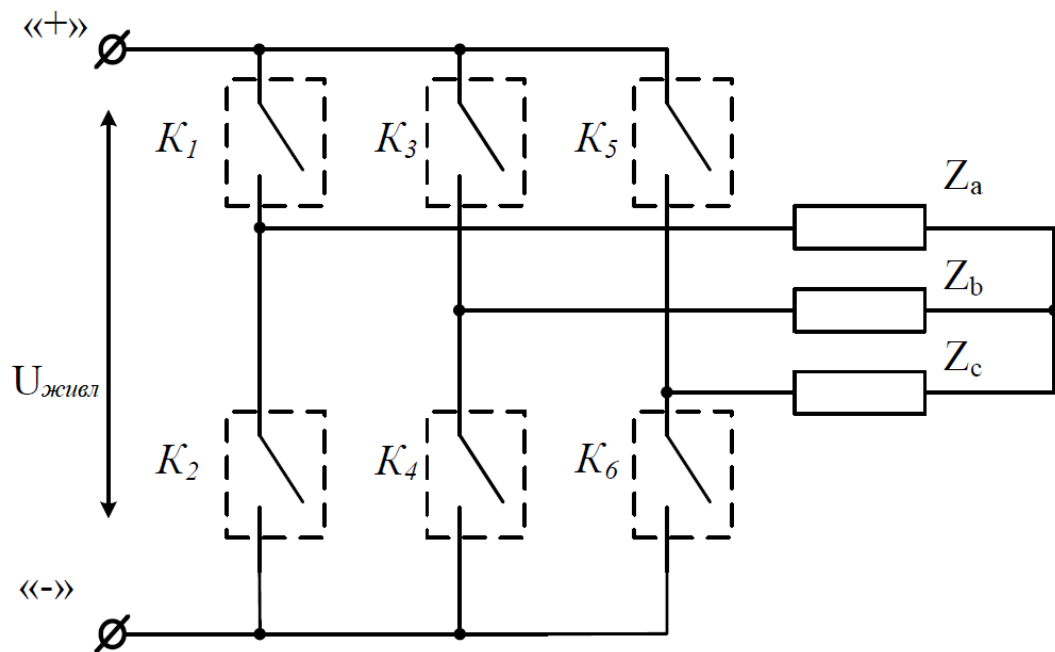


Рисунок 2.4 – Принципова електрична схема трифазного інвертора

Даний перетворювач при живленні від джерела постійного струму за допомогою шести силових напівпровідникових приладів ($K_1 - K_6$) здійснює перетворення постійного струму на змінний трифазний, який подається на обмотки статора, з'єднані в "Зірку".

Робота інвертора відбувається за наступним принципом: в інтервалі часу від 0 до $T/6$ подаються керуючі сигнали на ключі K_2 , K_3 і K_6 (рис. 2.5), завдяки чому відбувається замикання відповідних силових напівпровідникових приладів і протікання струму по колу «+» - K_3 - Z_b - Z_a (Z_c) - K_2 (K_6) - «-».

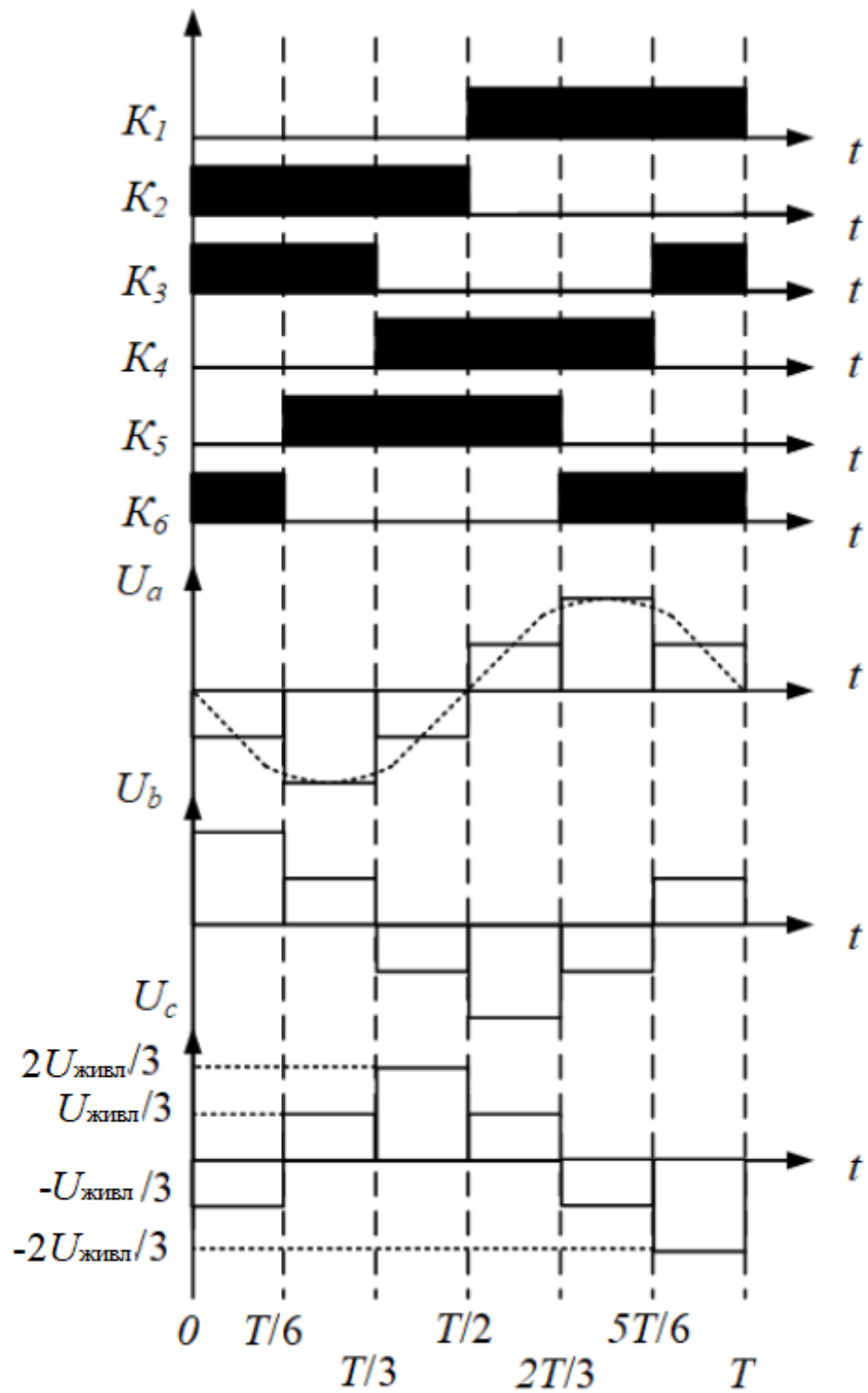


Рисунок 2.5 – Діаграма керуючих імпульсів та фазних напруг

В результаті на обмотці фаз А і С виходить напруга, значення якої

складає - $\frac{U_{\text{живл}}}{3}$, фази В при цьому буде дорівнювати $\frac{2 \cdot U_{\text{живл}}}{3}$. У ході наступної частини періоду (від $T/6$ до $T/3$) відбувається зняття керуючого імпульсу з ключа К6 та замикання приладу К5, через що фази В і С отримують напругу $\frac{U_{\text{живл}}}{3}$, а фаза А - $\frac{2 \cdot U_{\text{живл}}}{3}$. Таким чином, у кожен частину періоду, що становить $T/6$, ключі замикаються так, щоб напруга в кожній фазі змінювалася від величини $\frac{2 \cdot U_{\text{живл}}}{3}$ до $\frac{2 \cdot U_{\text{живл}}}{3}$ з кроком $\frac{U_{\text{живл}}}{3}$. В результаті, відбувається перетворення постійного струму в змінний трифазний, де крива середньої напруги кожної фази буде формою синусоїди, зі зсувом фаз на 120 електричних градусів один від одного.

Як говорилося вище, силовий перетворювач може бути розроблений на основі транзисторів, так і тиристорів. Однак перевага надається IGBT-транзисторам, які в силових перетворювачах мають кілька важливих переваг, порівняно з тиристорами [6]:

- час замикання тиристорів вимірюється десятками та сотнями мікросекунд, у той час як для IGBT-транзисторів ця величина становить десятки та сотні наносекунд;

- IGBT-транзистори можуть працювати за більш високих температур;

- схематичне розв'язання задачі (наприклад, побудова принципової схеми трифазного інвертора) легше уявити за допомогою IGBT-транзисторів. Це можна спостерігати на рис. 2.6 при порівнянні схеми (а) та схеми (б). Схеми з урахуванням тиристорів складніше побудувати, оскільки тиристори вимагають наявності вузлів примусової комутації, які з конденсаторів C_1 - C_6 , і діодів VD_1 - VD_6 , що усувають вплив цих вузлів один на одного. Ці вузли потрібні для замикання тиристорів, адже, на відміну від транзисторів, тиристори не можна закрити простим зняттям керуючого сигналу з керуючого електрода. Крім цього необхідно додати зворотну напругу.

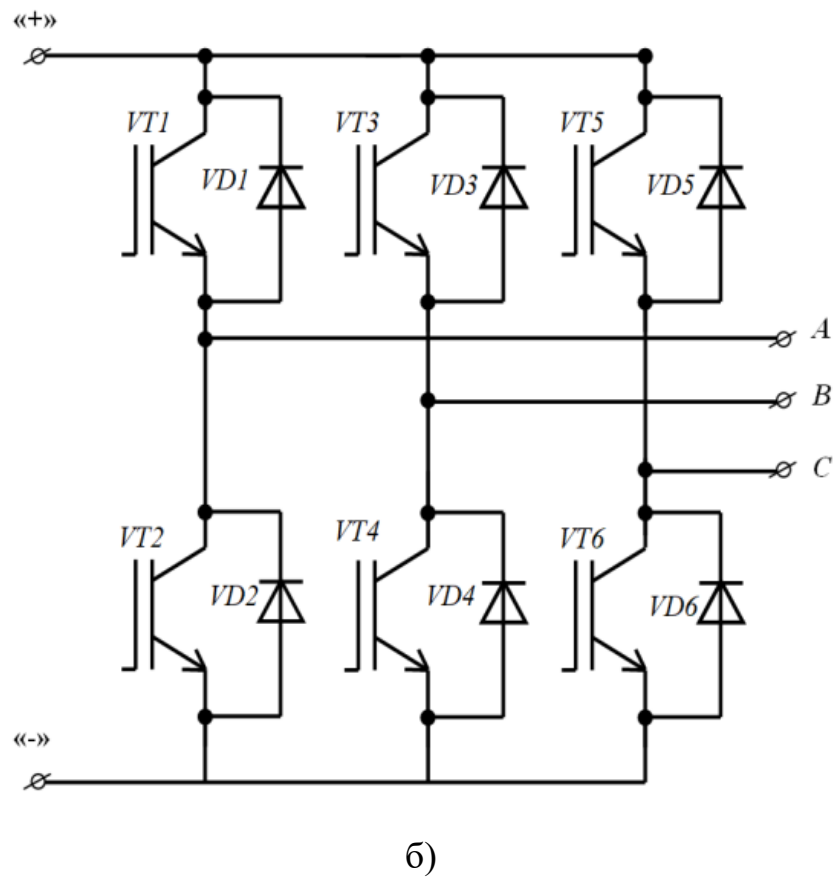
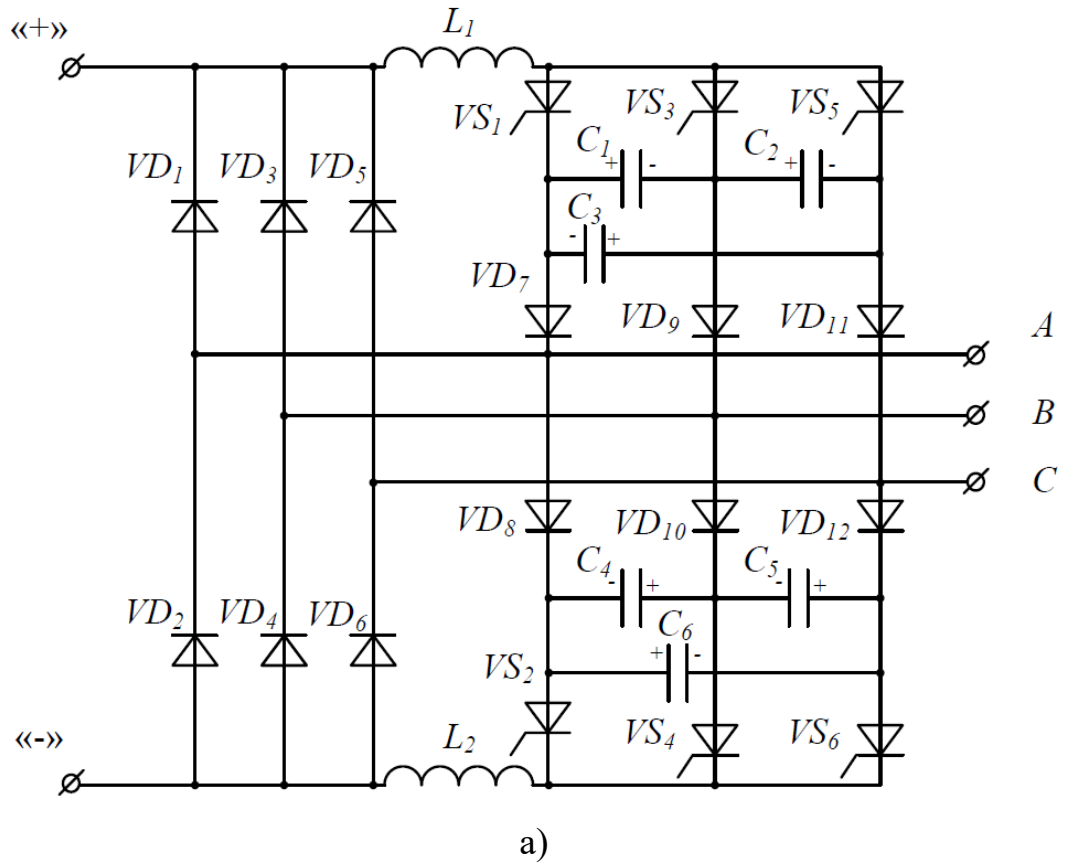


Рисунок 2.6 – Принципова електрична схема інвертора на базі тиристорів (а) та IGBT-транзисторів (б)

Основним із важливих недоліків IGBT-транзисторів у порівнянні з тиристорами є ціна перших.

Застосування транзисторів, як електронних ключів, дозволяє здійснювати широтну модуляцію напруги, що важливо при здійсненні частотного пуску двигуна. Адже в даному процесі необхідно дотримуватися відомого співвідношення між величинами напруги живлення і його частотою.

Вище вже було розглянуто основи широтно- і частотно-імпульсного регулювання управління двигуном постійного струму. На відміну від ДПС, для керування двигуном змінного струму форма кривої середньої напруги, що живить двигун, повинна бути синусоїдою. На діаграмах нижче зображені під рисунками:

- a) необхідна форма кривої напруги;
- b) необхідна форма імпульсів при широтно-імпульсній модуляції, для отримання кривої середньої напруги, заданої на рис. 2.7 (a);
- c) необхідна частота імпульсів при частотно-імпульсній модуляції для отримання кривої середньої напруги, заданої на рис. 2.7 (a).

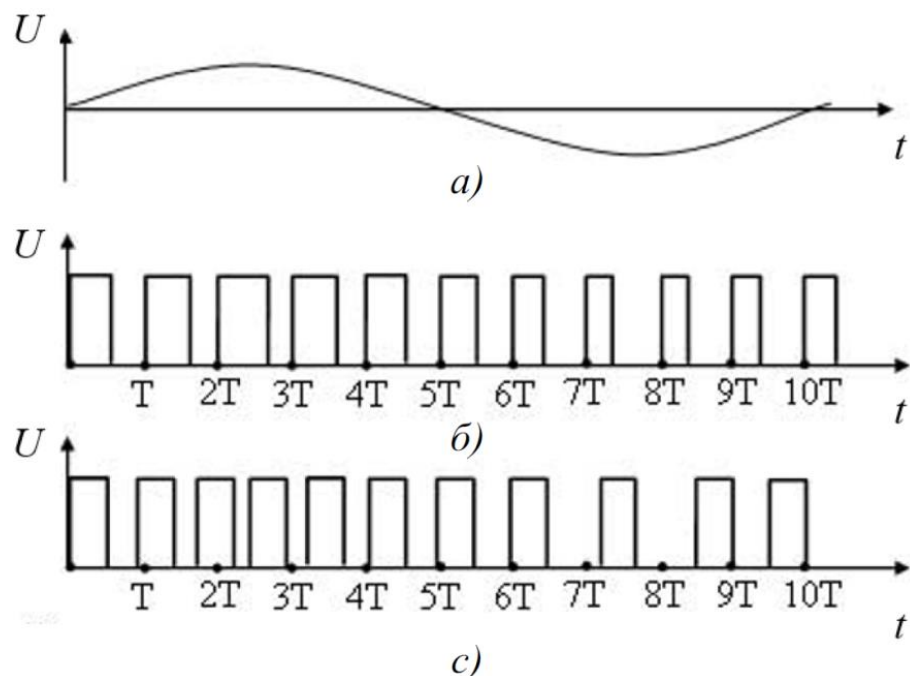


Рисунок 2.7 – Діаграми напруги (a) та імпульсів широтно-імпульсній модуляції (б) та частотно-імпульсній модуляції (c)

Як видно з рис. 2.7, величина коефіцієнта заповнення λ і частоти імпульсів f прямопропорційні величині середньої напруги. А зміна тривалості імпульсу і його появи дозволяє регулювати як величину, так і частоту вихідної напруги інвертора. Однак це співвідношення (напруга/частота) має бути суворо дотримано. Для стеження за даним аспектом існує два основних методи управління безщітковими електродвигунами змінного струму: скалярне та векторне.

Скалярне управління ТЕД базується на підтримці постійного відношення величини напруга/частота (далі В/Гц), яке можна спостерігати на рис. 2.8, у всьому робочому діапазоні швидкостей. Контроль здійснюється тільки за величиною та частотою напруги живлення.

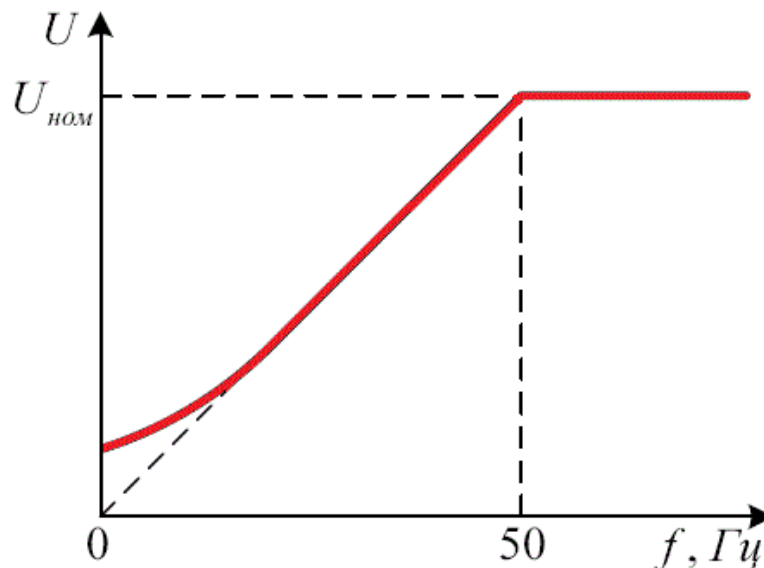


Рисунок 2.8 – Відношення напруги живлення до його частоти

Відношення В/Гц обчислюється з урахуванням номінальних значень контрольованого електродвигуна. Підтримуючи постійне значення відношення, можна утримувати відносно постійний магнітний потік у зазорі двигуна. Якщо контрольоване співвідношення зростає, тоді електродвигун стає перезбудженим, і навпаки, якщо воно зменшується - двигун перебуває у незбудженому стані, що може призвести до додаткових втрат або збоїв.

На низьких обертах необхідно компенсувати падіння напруги на опорі статора, тому відношення напруги до частоти на низьких обертах встановлюють вище ніж номінальне значення.

Метод скалярного управління часто застосовують для керування асинхронними ТЕД, так як даний метод має дуже просту схему керування і водночас дуже дешевий. Однак є кілька дуже суттєвих мінусів, через які даний спосіб керування дуже рідко застосовується на транспорті:

- 1) низький діапазон регулювання швидкостей (1:10);
- 2) можливі похибки швидкості до 10 %;
- 3) повільний відгук при зміні навантаження, через що при використанні керування синхронним двигуном з постійними магнітами можливий вихід із синхронізму.

Саме через ці недоліки на заміну скалярному для електромобілів краще підійде векторне управління.

Даний метод, на відміну від попереднього, крім контролю над величиною і частотою напруги живлення додатково стежить за його фазою. Ця особливість дозволяє обладнанню розрахувати швидкість обертання ротора і момент на валу, завдяки чому можливе незалежне та практично безінерційне регулювання перерахованих вище величин. Даний аспект дозволяє мати більш високу продуктивність: висока точність регулювання швидкості (похибки практично рівні 0); плавне регулювання у всьому діапазоні частот; дуже швидке реагування на зміну навантаження (швидкість практично стала); діапазон регулювання швидкостей на порядок вищий (до 1:200).

Вищеперелічені переваги векторного управління дуже важливі для електромобіля як високодинамічного транспортного засобу. Але і цей метод має свої недоліки, серед яких основними можна назвати складнішу схематичну будову, необхідність знання параметрів конкретного ТЕД, а також високу вартість обладнання

2.2 Висновки до розділу

1. За підсумками досліджень різних типів електромеханічних, а також електричних перетворювачів було з'ясовано, що вибір елементів тягового електроприводу обмежується умовами, що стоять перед інженерами.

2. Для вирішення одного з наших завдань, а саме визначення типу тягового електродвигуна та силового перетворювача із системою керування для електромобілів, вирішено використовувати синхронний двигун із постійними магнітами, керування яким відбувається за допомогою трифазного інвертора на IGBT-транзисторах, з векторним керуванням. Даний підбір ЕМПр та ЕПр заснований на наступних важливих особливостях для заданого виду електроприводу:

- 1) максимальний ККД;
- 2) мінімальні масогабаритні показники всього приводу;
- 3) менші теплові потужності;
- 4) високодинамічні режими роботи.

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок необхідної потужності тягового електродвигуна

3.1.1 Вихідні дані

Другим завданням є визначення реальної моделі електричного двигуна для заданого електромобіля, який можна придбати на теренах України. Це потрібно, оскільки справжня електрична машина характеризується наявністю кількох номінальних параметрів. Однією з найважливіших таких величин є номінальна потужність тягового електродвигуна, адже значення потужності визначає динамічні показники транспортного засобу, а крім того, за її допомогою відбувається розрахунок електрообладнання електроприводу. Цю величину можна знайти різними методами, у роботі буде проводитися розрахунок потужності ТЕД аналітичним методом і з циклом руху транспорту.

Аналітичний метод розрахунку передбачає знаходження величини необхідної потужності двигуна на основі необхідних динамічних та заданих масогабаритних показників. Через обчислення необхідної механічної потужності для руху за заданих умов відбувається розрахунок необхідної електричної потужності електродвигуна.

Знаходження величини необхідної потужності двигуна по циклах руху передбачає побудову математичної моделі в середовищі MatLAB, де за заданими кривими можна визначити більшість необхідних параметрів, таких як прискорення, швидкість, потужність, енергія в будь-який момент часу.

Прототипом досліджуваного електромобіля є автомобіль Mazda CX-5, характеристики якого представлені в таблиці 2.1 [7]. Дані характеристики належать до комплектації Active 2.5 AT. Вибір такого варіанту ґрунтується на прийнятному для електромобілів кросоверів розгоні, який має становити не більше 10 с.

Таблиця 3.1 – Характеристики автомобіля Mazda CX-5 комплектації
Active 2.5 AT

Характеристика	Одиниця виміру	Значення
Розгін	<i>сек</i>	9
Максимальна швидкість	<i>км/год (м/с)</i>	195 (54,2)
Довжина	<i>мм</i>	4550
Ширина		1840
Висота		1675
Ширина передньої/задньої колії		1595/1595
Кліренс		192
Маса споряджена	<i>кг</i>	1598
Передавальна кількість головної передачі	-	4,624

3.1.2 Аналітичний метод

Визначення номінальної потужності тягового електродвигуна змінного струму для електрорухомого складу визначатиметься згідно [8]:

$$P_{\text{дв.ном}} = \frac{P_m}{k_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{дв}}}; \quad (3.1)$$

де P_m - потрібна потужність на ободі колеса, Вт;

$\eta_{\text{пер}} = 0,95$, $\eta_{\text{дв}} = 0,95$ – значення ККД елементів механічної передачі та самого двигуна (дані значення є попередніми та після вимагають уточнень);

$k_{\text{пер}}$ - перевантажувальний коефіцієнт (для синхронного двигуна із постійними магнітами виробництва «ОРІОН» приймається рівним 3...4).

У формулі (3.1) невідома величина необхідної потужності P_m . Вона розраховується за такою формулою:

$$P_m = F_m \cdot V_{\text{пуск}}^2, \quad (3.2)$$

де F_m - тягове зусилля на обід колеса, Н;

$V_{\text{пуск}} = 100 \text{ км/год} = 27,8 \text{ м/с}$ – швидкість пуску, що приймається рівним кінцевій швидкості розгону.

Необхідна сила тяги F_m :

$$F_m = 1 + \gamma \cdot m \cdot a_{\text{пуск}} + W_0. \quad (3.3)$$

де $1 + \gamma = 1,03 \dots 1,07$ - коефіцієнт інерції обертових частин автомобіля (для прямої передачі [9]);

m - маса рухомого складу, кг;

$a_{\text{пуск}}$ - пускове прискорення транспорту, м/с^2 ;

W_0 - основні сили опору руху транспорту.

Величина основного опору руху W_0 для легкового транспорту є складовою доданку сили кочення $W_{\text{коч}}$ і аеродинамічного опору $W_{\text{аер}}$:

$$W_0 = W_{\text{коч}} + W_{\text{аер}} \quad (3.4)$$

У свою чергу, ці складові визначаються як

$$W_{\text{коч}} = m \cdot g \cdot f_{\text{нит}}; \quad (3.5)$$

$$W_{\text{аер}} = S \cdot \alpha \cdot V_{\text{пуск}}^2, \quad (3.6)$$

де $f_{\text{нит}}$ - коефіцієнт питомого опору кочення;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

S – площа міделевого перетину, м^2 ;

α – коефіцієнт обтічності, $\text{Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$.

Для проведення початкових розрахунків необхідно знайти масу електромобіля, коефіцієнт питомого опору кочення, площу міделевого перетину та коефіцієнт обтічності.

Визначити точні значення маси спочатку неможливо. Ця величина буде залежати від маси обладнання, яке спочатку потрібно прибрати з бензинового варіанту автомобіля (ДВЗ, коробка передач, бензобак тощо) і потім поставити для роботи його електричного аналога (ТЕД, електричний силовий перетворювач, батарея та ін.), а також комплектації електромобіля. Однак на даному етапі розрахунків можна взяти наближене значення маси автомобіля, яка залежатиме від масогабаритних показників аналогічних електрокросоверів. Деякі з технічних характеристик електромобілів представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики електромобілів

Марка	Mercedes-Benz	Hyundai Kona	Audi etron	Nissan
Параметри	EQC	Electric		Leaf
Довжина, мм	4761	4165	4901	4490
Ширина, мм	1884	1800	1935	1788
Висота, мм	1624	1550	1629	1530
Споряджена маса, кг	2495	1610	2565	1580

Припустимо, що шукана маса дорівнюватиме середній масі електромобілів, адже за габаритами та комплектацією кузовів кросовери досить близькі.

$$m_1 = m_{cp} = \frac{m_2 + m_3 + m_4 + m_5}{4};$$

$$m = \frac{2495 + 1610 + 2565 + 1580}{4} \approx 2060 \text{ кг.} \quad (3.7)$$

Коефіцієнт питомого опору кочення залежить від типу дорожнього покриття і швидкості автомобіля. Розрахувати його значення для легкового автомобіля при русі асфальтом можна за допомогою формули:

$$f_v = 0,01 \dots 0,02 \cdot \left(1 + \frac{V^2}{20000} \right);$$

$$f_v = 0,015 \cdot \left(1 + \frac{27,8^2}{20000} \right) = 0,0156. \quad (3.8)$$

Знаючи масу електромобіля і коефіцієнт $f_{удськ}$, визначимо одну зі складових сил опору формули (3.5):

$$W_{коч} = 2060 \cdot 9,81 \cdot 0,0156 = 315H.$$

Для вирішення формули (3.6) необхідно визначити величину міделевого перерізу та коефіцієнта обтічності.

Площа міделевого перерізу автомобіля визначається як добуток коефіцієнта площі міделя 0,9 на найбільшу колію В електромобіля та на його висоту Н.

$$S = 0,9 \cdot B \cdot H;$$

$$S = 0,9 \cdot 1595 \cdot 1675 \cdot 10^{-6} = 2,404 \text{ м}^2. \quad (3.9)$$

Коефіцієнт обтічності прийемо рівним як для електрокросоверу Audi e-Tron, як близького по комплектації кузова до заданого електромобіля, тобто $\alpha = 0,3 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$. Тоді за формулою (3.6):

$$W_{аер} = 2,404 \cdot 0,3 \cdot 27,8^2 = 557H,$$

і відповідно,

$$W_0 = 315 + 557 = 872H.$$

Для подальшого розрахунку необхідно знайти величину пускового прискорення $a_{\text{пуск}}$. Його значення визначимо за такою формулою:

$$\alpha = \frac{V_{\text{кін}} - V_{\text{поч}}}{t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}}}. \quad (3.10)$$

У цій формулі зазначені відповідно кінцеві та початкові значення швидкостей та часу. Початкові значення часу $t_{\text{поч}}$ і швидкості $V_{\text{поч}}$ дорівнюють 0 (початок руху). Розгін – час досягнення транспортом 100 км/год (27,8 м/с). Прийmemo, що електромобілю вдається підтримувати незмінним значення прискорення на всьому проміжку розгону. Тоді:

$$\alpha = \frac{27,8 - 0}{9 - 0} = 3,09 \text{ м / с}^2.$$

Тепер можна за допомогою формули (3.3) визначити необхідне тягове зусилля на обід колеса:

$$F_m = 1,05 \cdot 2060 \cdot 3,09 + 872 = 7556 \text{ Н}.$$

А необхідна потужність дорівнюватиме:

$$P_m = \frac{7556 \cdot 27,8}{1000} = 210,1 \text{ кВт}.$$

Тоді необхідна для нашого електромобіля номінальна потужність двигуна має бути більше:

$$P_{\text{дв.ном}} \geq \frac{210100}{3 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 1000} = 77,6 \text{ кВт}.$$

У результаті розрахунку даним способом з'ясувалося, що необхідна величина номінальної потужності тягового електродвигуна має становити понад 77,6 кВт.

Після визначення необхідної номінальної потужності ТЕД аналітичним методом приступимо до розрахунку потужності електричної машини за допомогою заданих циклів руху.

3.1.3 Визначення необхідної потужності тягового електричного двигуна за заданим циклом руху

Цей розрахунок дозволяє за заданими циклами руху при додатково заданих масогабаритних показниках відслідковувати необхідну динаміку руху електроавтомобіля, тобто прискорення, а завдяки його значенню визначати необхідну потужність. Спочатку отриманим результатом є механічна потужність, однак, з урахуванням ККД тягового електродвигуна і механічного перетворювача (трансмсії), можна отримати необхідну електричну величину тягового електродвигуна (двигунів для багаторухового транспорту).

Для розрахунків скористаємося міським європейським циклом руху US06, який вказано рис. 3.1 [10].

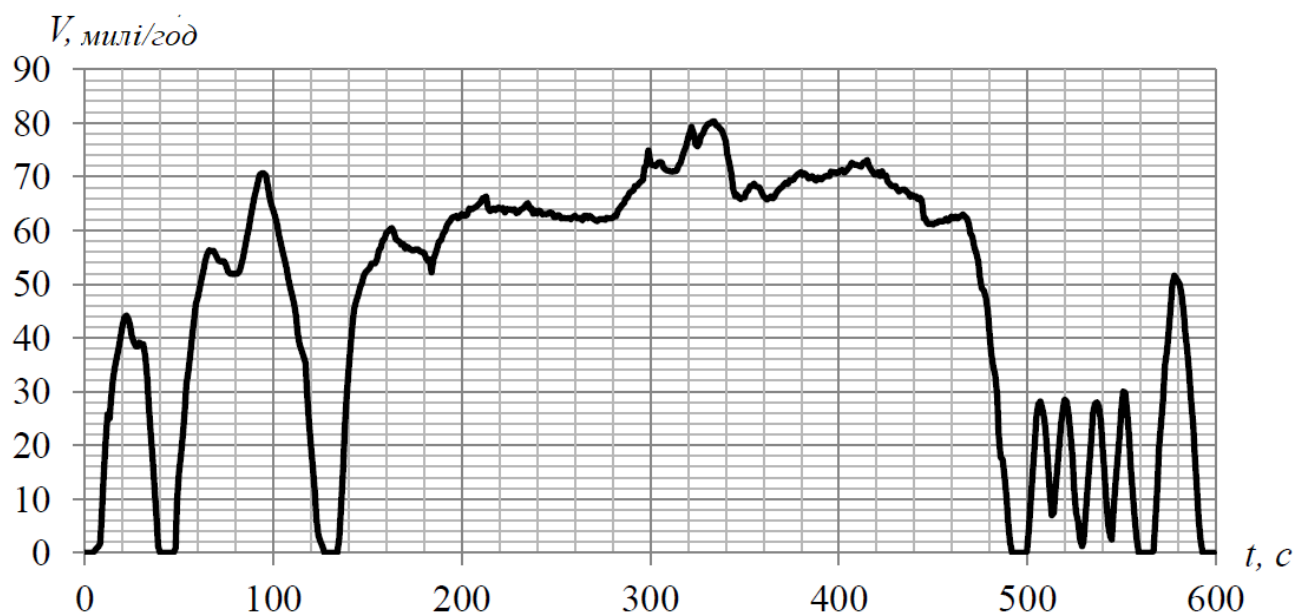


Рисунок 3.1 – Цикл руху US06

Характерною особливістю даного циклу є високі значення швидкостей та прискорень.

Як очевидно з кривої руху рис. 3.1, первісними даними є значення швидкості у різні моменти часу, а результатом розрахунків має стати електрична потужність ТЕД, тобто з *мили/год* отримати *Вт*.

Якщо взяти за основу аналітичний метод, то виходить, що для визначення необхідної механічної потужності P_m необхідно знати значення необхідної чинної сили тяги F_m , в якій, крім заданої швидкості і масогабаритних показників, необхідно знати величину прискорення. Її можна визначити, як похідну від швидкості, тобто:

$$a = \frac{dV}{dt} \cdot t, \frac{m}{c^2}. \quad (3.11)$$

При цьому значення швидкості надходять від самого циклу. Проте її величина представлена в одиницях *мили/год*, а необхідно отримати *м/с*. У середовищі MatLAB розрахунок прискорення виглядатиме так.

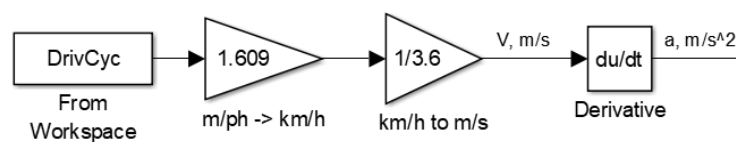


Рисунок 2.2 – Розрахунок прискорення у середовищі MatLAB

Як видно з рис. 3.2, з допомогою блоку From Workspace відбувається зчитування значень швидкості. Потім *мили/год* переводять спочатку у *км/год*, множенням заданої швидкості на *1.609*, а після *м/с*, діленням на *3.6*. Прискорення є результатом диференціювання.

Далі необхідно змоделювати формулу (3.3).

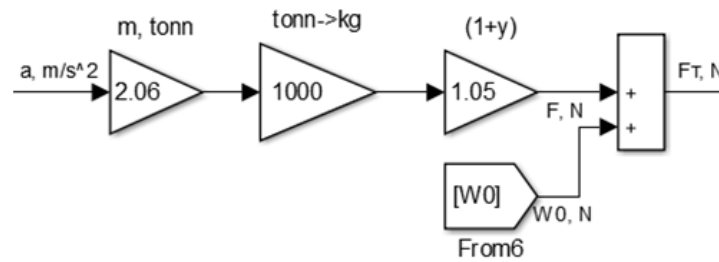


Рисунок 3.3 – Розрахунок необхідної сили тяги

На рис. 3.3 множники 2.06 і 1000 є масою m , а 1.05 – коефіцієнт інерції частин $1+\gamma$, що обертаються. Разом з прискоренням, цей витвір є необхідною силою F , а в сумі з $W0$ відбувається розрахунок F_m (необхідне тягове зусилля). У цьому моделі розрахунку основного опору $W0$ представлено на рис. 3.4.

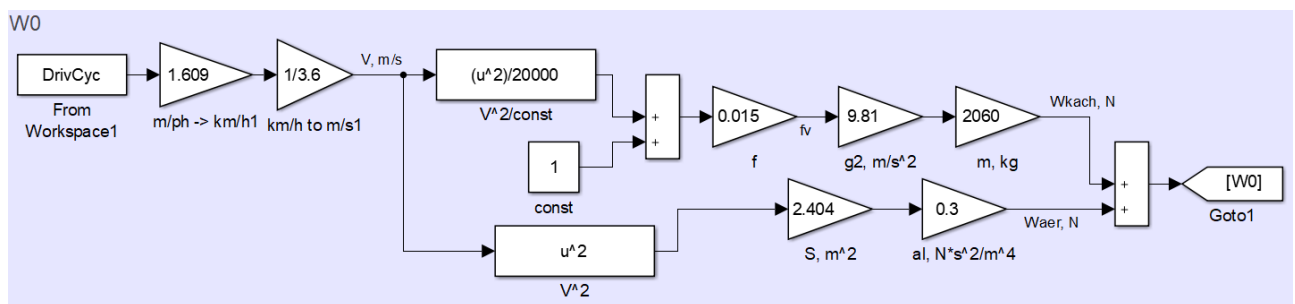


Рисунок 3.4 – Розрахунок основного опору руху

Як і для розрахунку прискорення, дана частина моделі за допомогою блоку From Workspace зчитує значення швидкості у значенні *мили/год* і переводиться в *м/с* (множення на 1609 і розподіл на 36). Далі йде розгалуження: верхня гілка моделює формули (3.5) і (3.8), а нижня - (3.6), тобто опору коченню $W_{коч}$ та аеродинамічний $W_{аер}$ відповідно. А результатом підсумовування стає основний опір $W0$.

Використання блоків *From* та *Goto* дозволяє розмежувати окремі частини моделі, а також зменшити кількість гілок для більш простого та компактного представлення принципу роботи моделі загалом.

Після визначення необхідного зусилля F_m можна за допомогою множення на швидкість V отримати необхідну механічну потужність P_m , тобто потрібно

змодельовати формулу (3.2). З урахуванням ККД двигуна та механічного перетворювача результатом стане значення електричної потужності.

Спільним результатом розрахунків стане частина моделі, представлена на рис. 3.5.

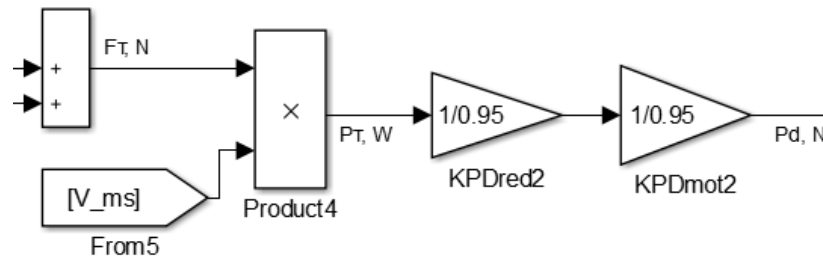


Рисунок 3.5 – Розрахунок електричної потужності

Як очевидно з рисунка, модель не враховує коефіцієнт перевантаження. Це пов'язано з тим, що на відміну від аналітичного методу підбір двигуна за потужністю та його перевірка будуть проводитись методом середньоквадратичної потужності, заснованого на методі середньоквадратичного струму. Основна формула даного методу

$$I_{\infty} \geq I_{cp.kv} \cdot \sqrt{\frac{B_{\infty}}{B_0} \cdot K_H \cdot K_{\theta} \cdot K_3}. \quad (3.12)$$

А в нашому випадку:

$$P_{dl} \geq P_{cp.kv} \cdot \sqrt{\frac{B_{dl}}{B_0} \cdot K_H \cdot K_{\theta} \cdot K_3}. \quad (3.13)$$

де $P_{cp.kv}$ - середньоквадратичне значення потужності, Вт;

B_{dl}/B_0 - відношення тепловіддач (для двигунів з незалежною або самовентиляцією рівною одиниці);

K_H - коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження між двигунами (при одному двигуні поїздом дорівнює 1);

K_{θ} – температурний коефіцієнт;

K_3 - коефіцієнт запасу, який у разі приймається рівним коефіцієнту навантаження, тобто 3.

Температурний коефіцієнт K_θ розраховується як

$$K_\theta = \frac{\tau_{ндл}}{\tau_{ндл} + 25 - \theta_0}, \quad (3.14)$$

де θ_0 – температура довкілля;

$\tau_{ндл}$ - допустимий нормований перегрів, відповідний класу ізоляції.

Проте значення температури θ_0 не обговорюється у розрахунках, тому приймаємо K_θ рівним одиниці.

Середньоквадратичне значення потужності розраховуватиметься таким чином:

$$P_{cp.kv} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 \cdot \Delta t_i}{T}}, \quad (3.15)$$

або

$$P_{cp.kv} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P^2 dt}, \quad (3.16)$$

де T - час циклу, с.

У середовищі MatLAB ця частина розрахунків буде виглядати як показано на рис. 3.6.

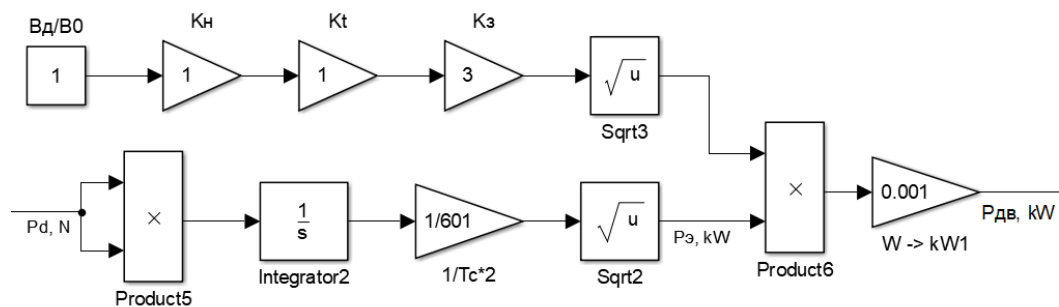


Рисунок 3.6 – Розрахунок номінальної потужності двигуна

3.1.4 Розрахунок номінальної потужності електродвигуна та силового перетворювача

Розрахунок потужності проводиться по моделі, представлений на рис. 3.7. Цикл US06, який використовуватиметься, дозволить отримати максимальну необхідну величину, оскільки, як описувалося раніше, даний цикл характеризується великими значеннями швидкостей і прискорень і, відповідно, великими величинами потужності двигуна.

В середовищі MatLAB принцип роботи моделі полягає в наступному. За допомогою блоку From Workspace відбувається зчитування даних циклу. Ці дані представлені таблицею, зображеною на рис. 3.8.

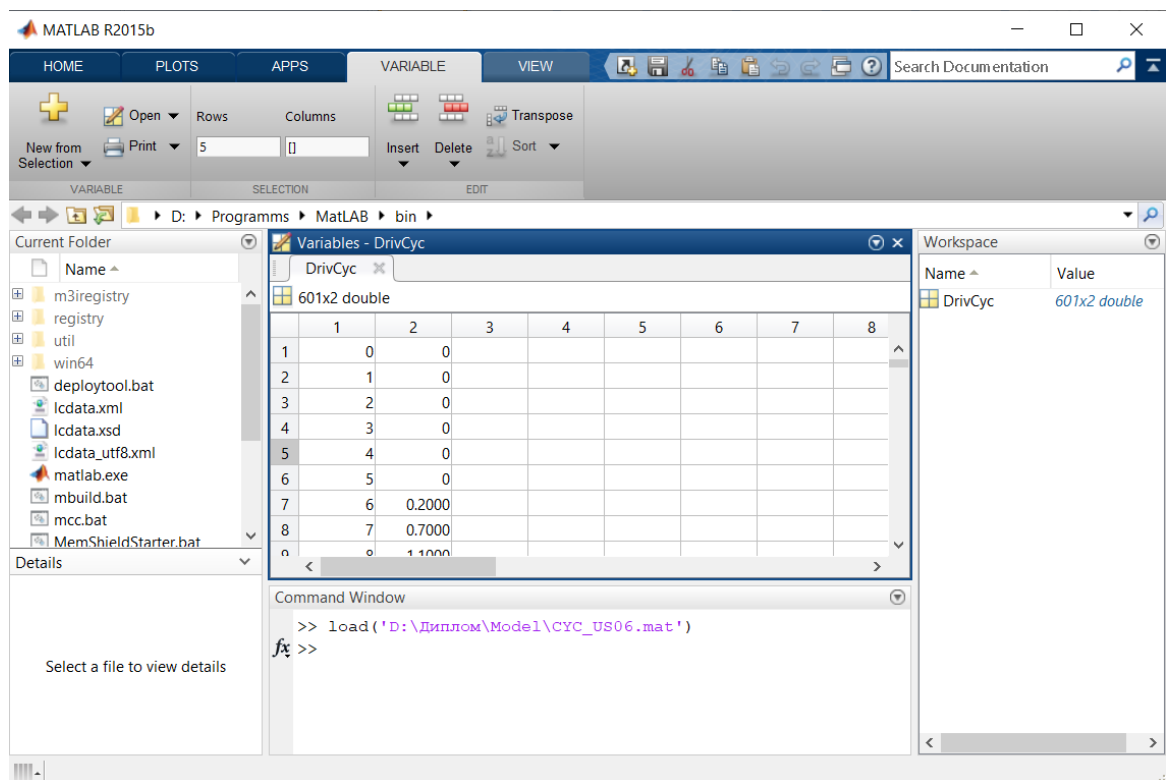


Рисунок 3.8 – Таблиця даних циклу руху US06

Як видно з рисунка, у таблиці перший стовпець є значенням осі часу циклу в *s*; другий стовпець – значення швидкості *мили/год*. Назва таблиці DrivCyc передбачає, що блокові From Workspace необхідно посилатися на цю назву. Налаштування блоку представлено рис. 3.9.

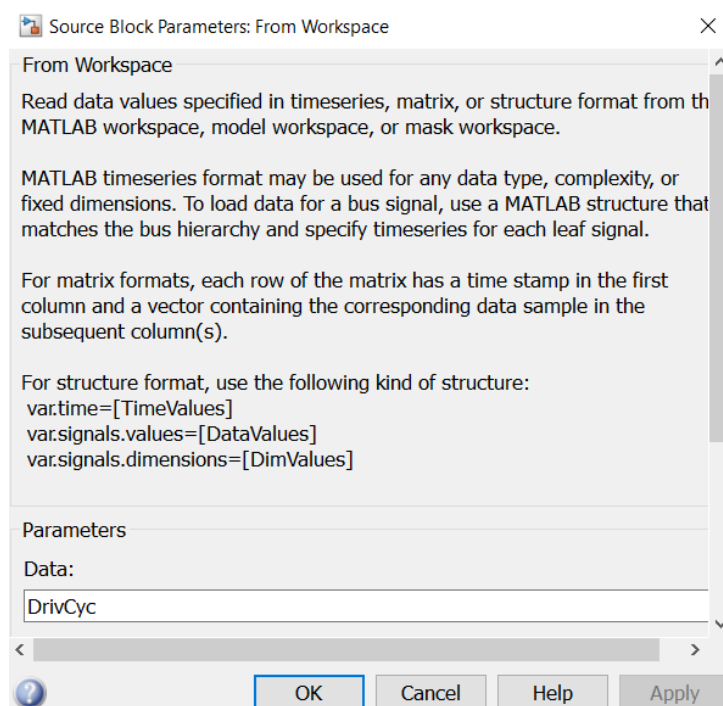


Рисунок 2.9 – Налаштування параметрів блоку From Workspace

Встановивши що час закінчення моделювання рівний часу протікання циклу руху (601 с), дисплей, який відобразить результат моделювання, а також зв'язок між моделлю та таблицею даних циклу, на дисплеї відобразиться результат моделювання циклу, який можна спостерігати на рис. 3.10.

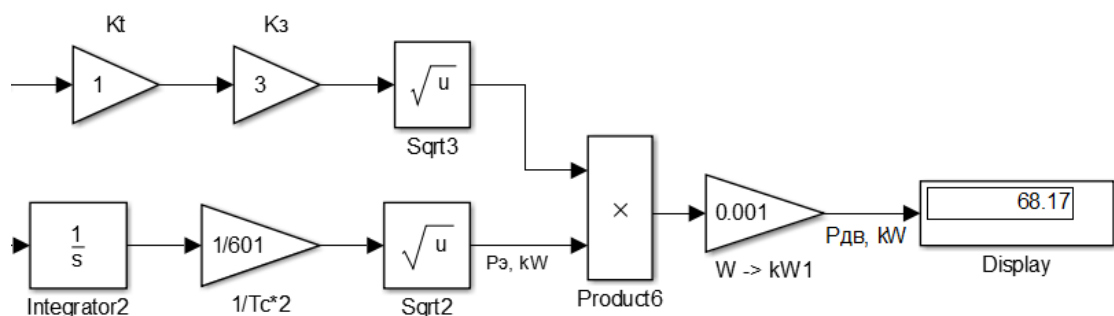


Рисунок 3.10 – Дисплей з результатом розрахунку моделі

Як видно з рисунка, середньоквадратична потрібна номінальна електрична потужність двигуна $P_{дл}$ має бути більше 68,17 кВт. Дане значення відповідає розрахунку за циклами руху, тоді як аналітичним методом необхідна

електрична потужність дорівнює 77,6 кВт. Значення відносно один одного близькі, проте перевага надається методу середньоквадратичної потужності, що використовується в розрахунках за циклами. Даний вибір обґрунтований тим, що останній має обмеження у динамічних показниках, що задаються найбільш «важким» циклом (з максимально можливими значеннями швидкостей та прискорень), у той час як для аналітичного методу динаміка обмежується вимогами проектувальника.

Умовою необхідної номінальної потужності тягового електродвигуна за методом середньоквадратичної потужності задовольняють синхронні двигуни із постійними магнітами серії "ОРІОН-18-2М. Характеристики двигуна серії "ОРІОН-18-2М" представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Характеристики двигуна "ОРІОН-18-2М-02"

Параметри двигуна	Одиниця виміру	Значення
Номінальна потужність	<i>кВт</i>	69
Годинна потужність	<i>кВт</i>	83
ККД	<i>%</i>	98,05
Теплова потужність	<i>Вт</i>	527
Номінальна напруга живлення (3 фази)	<i>В</i>	380/690
Максимальна частота напруги живлення	<i>Гц</i>	500
Номінальний/пусковий момент	<i>Н·м</i>	329/987
Максимальна температура обмотки/ротора	<i>°С</i>	180/100
Діаметри ротора/статора	<i>мм</i>	289/390
Маса двигуна	<i>кг</i>	94,7

А керувати даними ТЕД буде тяговий інвертор, параметри якого представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Параметри тягового інвертора "DTI-100H"

Параметри перетворювача	Одиниця виміру	Значення
Номінальна потужність	<i>кВт</i>	100
Номінальний/максимальний вихідний струм	<i>А</i>	125/250
Діапазон напруги живлення	<i>В</i>	48-700
ККД	<i>%</i>	97-98,4
Габаритні розміри	<i>мм</i>	260x110x330
Маса	<i>кг</i>	8,8
Управління	-	векторне

3.2 Дослідження впливу вихідних даних на потрібну потужність тягового електродвигуна

Третім завданням є визначення, дослідження та аналіз того, яким чином зміна вихідних даних вплинуть на параметри електромобіля, до яких можна віднести:

- швидкість;
- прискорення;
- споживана тяговим електродвигуном електрична потужність (з урахуванням коефіцієнта навантаження);
- середньоквадратична електрична потужність.

До змінюваних даних, які можуть відрізнятися протягом руху електромобіля, відносяться:

- 1) цикл руху;
- 2) маса електромобіля;
- 3) профіль шляху.

Перше може змінюватися внаслідок зміни території пересування. Цикл US06, наприклад, може характеризувати рух за містом, де потік машин менший, а значить можна досягти високих показників швидкостей та прискорення. Однак цикл UDC відповідає вже переміщенню містом, в якому, через більш високий потік транспорту, просто неможливо досягти вже високої динаміки.

Зміна маси електромобіля обумовлена можливістю під час руху зміни кількості пасажирів та/або додаванням додаткового вантажу.

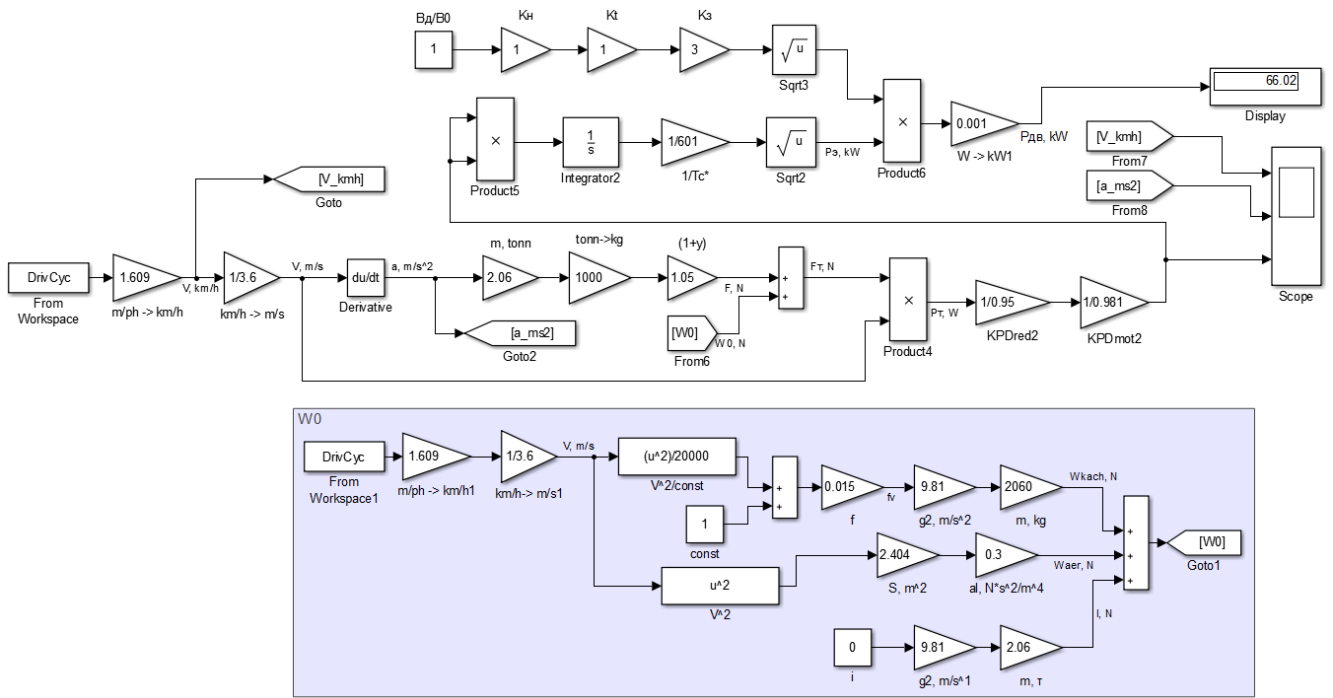
Третій пункт обумовлений нерівномірністю дорожнього покриття, а точніше його нахилу. Зміна основного опору руху внаслідок додавання нової складової спричинить збільшення витрат потужності (на подолання шляху в ухил) або їх зменшення (при русі на спуску).

Для дослідження поведінки параметрів потрібно трохи змінити модель. Її вид (для циклу US06) представлений на рис. 3.11 (а), а параметри електромобіля можна бачити на рис. 3.11 (б).

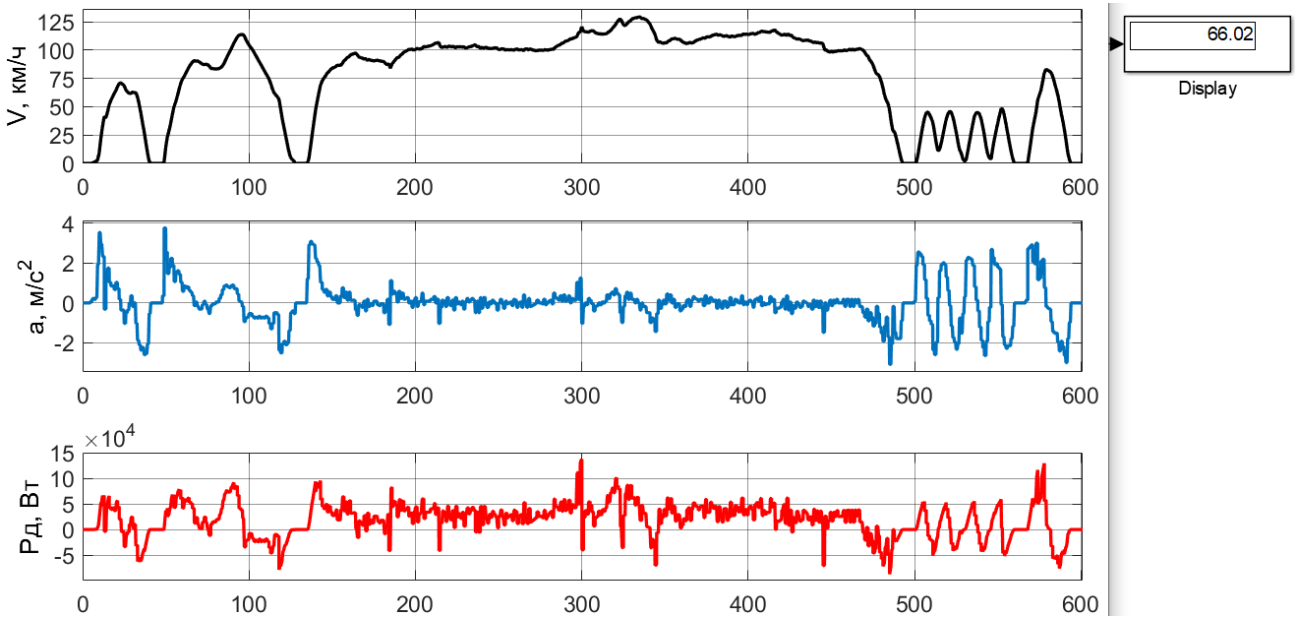
Як видно з рис. 3.11 (а), в моделі змінено значення ККД двигуна на паспортне значення і додана нова гілка в розрахунках опору W_0 , яка враховує профіль шляху, блок Score, що дозволяє зчитувати значення швидкості, прискорення та електричної потужності двигуна та блок Display, відображає середньоквадратичне значення електричної потужності двигуна.

3.3 Дослідження різних циклів руху

Крім вихідного циклу руху US06, який зображений на рис. 3.11, додатково будуть розглянуті цикли EUDC і ECE (UDC). На відміну від завантаженого першого циклу, останні два є циклами руху всередині міста, а також характеризуються нижчими значеннями швидкостей і прискорень. Спочатку розглянемо цикл EUDC, представлений на рис. 3.12.



a)



б)

Рисунок 3.11 – Модель розрахунку (а) та діаграма параметрів Scope с Display (б)

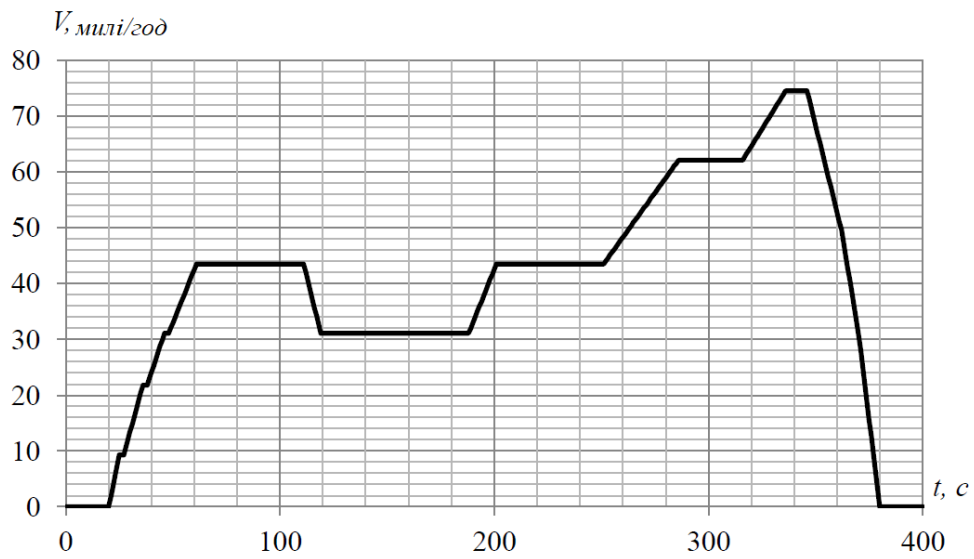


Рисунок 3.12 – Цикл руху EUDC

Тривалість даного циклу складає 400 секунд. Даний фактор необхідно враховувати при розрахунках усередині моделі.

Змодельовані параметри електромобіля за цим циклом представлені на рис. 3.13.

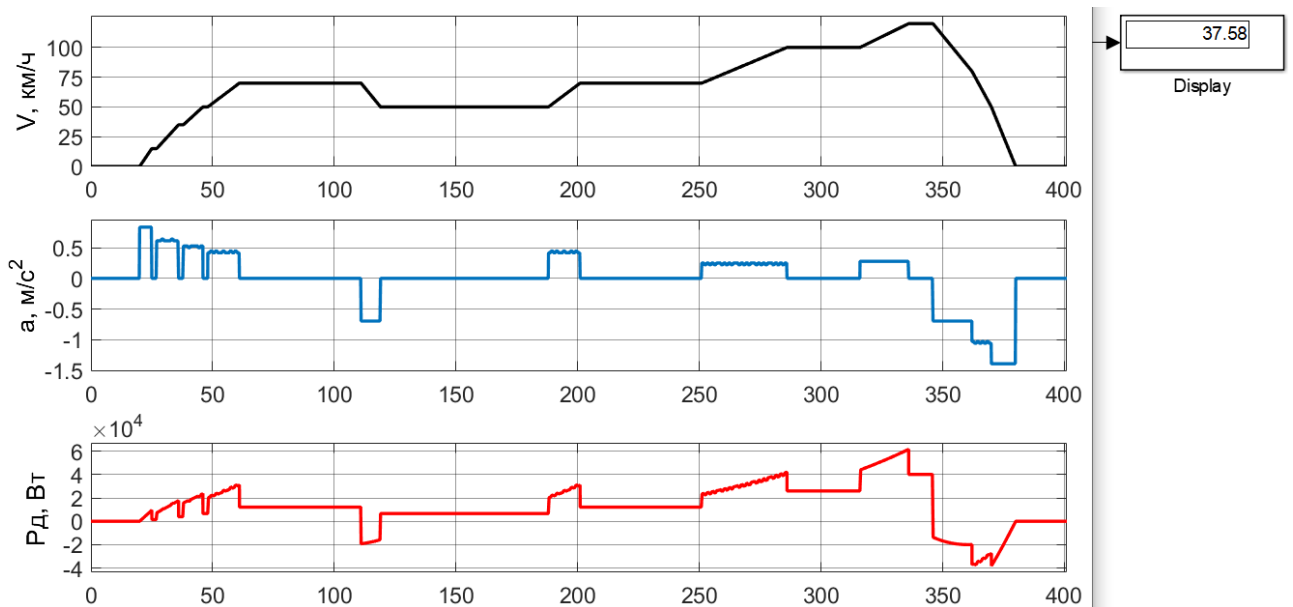


Рисунок 3.13 – Діаграма циклу руху EUDC

Наступний досліджуваний цикл руху – ЕСЕ. Його вигляд можна спостерігати на рис. 3.14.

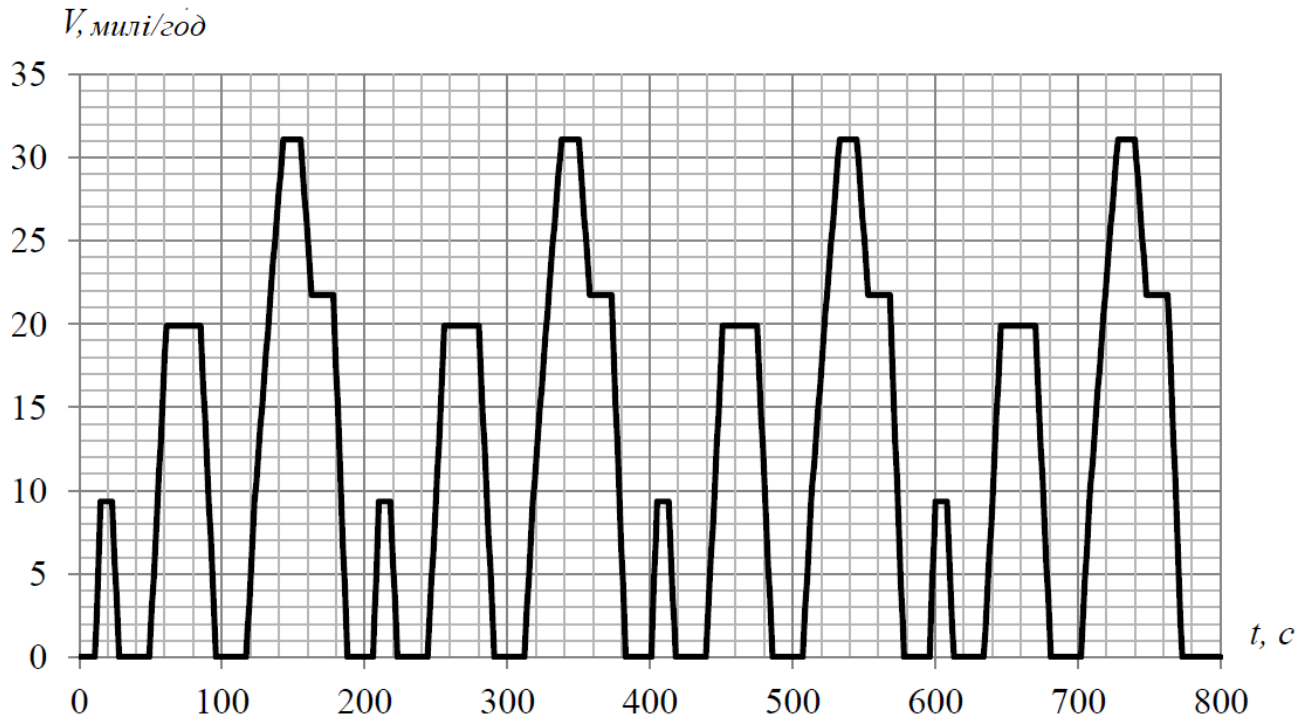


Рисунок 3.14 – Цикл руху ЕСЕ

Тривалість циклу ЕСЕ дорівнює 800 секунд. Швидкість та прискорення, що розвиваються електромобілем, а також абсолютні та середньоквадратичні значення електричної потужності показані на рис. 3.15.

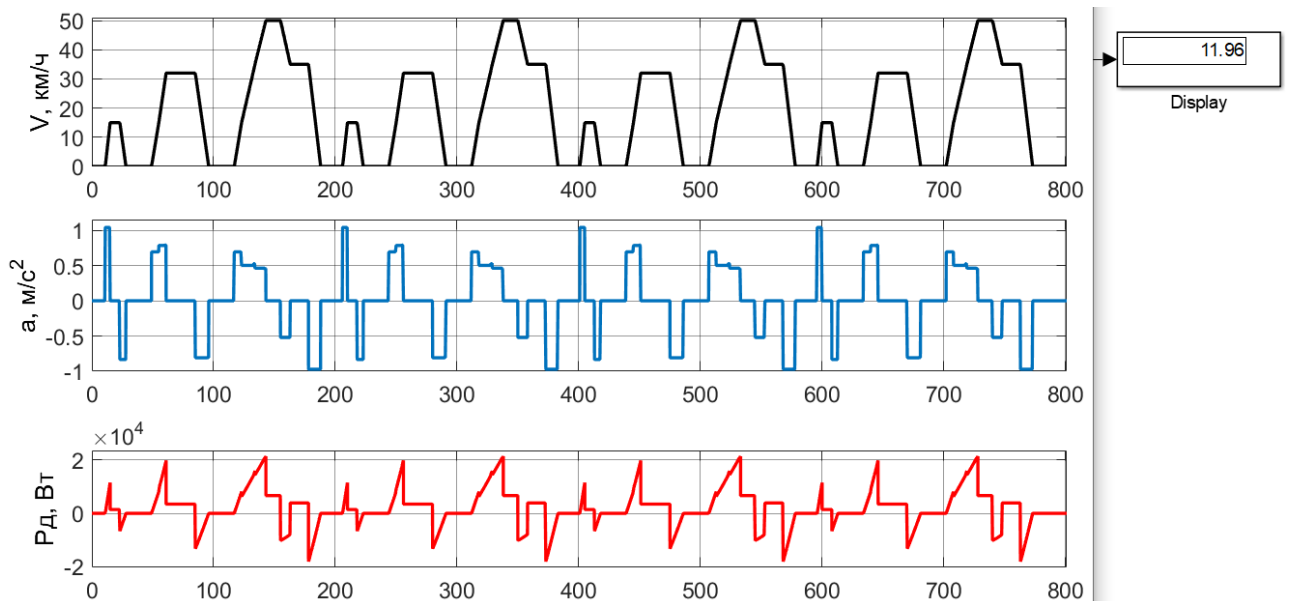


Рисунок 3.15 – Діаграма циклу руху ЕСЕ

Для зручності аналізу даних побудуємо таблицю 3.5, у якій розпишемо деякі параметри циклів.

Таблиця 3.5 - Параметри циклів

Досліджувана величина	Одиниця вимірювання	Значення		
		US06	EUDC	ECE
Максимальна швидкість	км/год	129	120	50
Максимальне прискорення	м/с ²	3,75	(-)1,34	1,04
Максимальна електрична потужність	кВт	137,4	61,52	21,3
Тривалість циклу	с	600	400	800
Середньоквадратична потужність	кВт	66,02	37,58	11,96

За даними таблиці 3.1 можна побачити, що серед трьох порівнюваних циклів US06 має максимальні показники швидкості та сили (відповідно максимальної та середньоквадратичної електричної потужності). Через це цей цикл і використовувався для визначення необхідної потужності ТЕД.

Цикл EUDC має середні показники, але з великою максимальною швидкістю. Такий цикл характерний для руху автомагістралями.

Третій цикл ECE характеризується найнижчими показниками максимальної швидкості та максимального прискорення. Такі параметри відповідають міському руху, де допустима швидкість відносно низька, а густина транспортних засобів не дозволяє динамічно пересуватися транспорту.

Тобто за циклами руху можна зробити наступний висновок: що вища максимальна швидкість у циклі руху і що істотніше її зміни за найменший проміжок часу (прискорення), то більша величина максимальної електричної потужності. А що більше відбувається таких перепадів швидкостей, то вище значення середньоквадратичної потужності.

3.4 Дослідження впливу маси електромобіля

Як було описано вище, маса електромобіля може змінюватись в залежності від кількості пасажирів, а також додаткового навантаження у вигляді багажу. Для порівняння, зі спорядженою масою електромобіля (прийнятою рівною 2060 кг) розглянемо випадки повної комплектації пасажирами (додатково 4 пасажирів) та досягнення допустимої повної маси машини. Тоді

$$m_1 = m + m_{\text{дон}}, \quad (3.17)$$

де $m_{\text{дон}}$ - додаткова маса.

У першому випадку додамо до маси електромобіля масу чотирьох пасажирів. З урахуванням 4 пасажирів, у яких маса в середньому становить 70 кг, отримаємо:

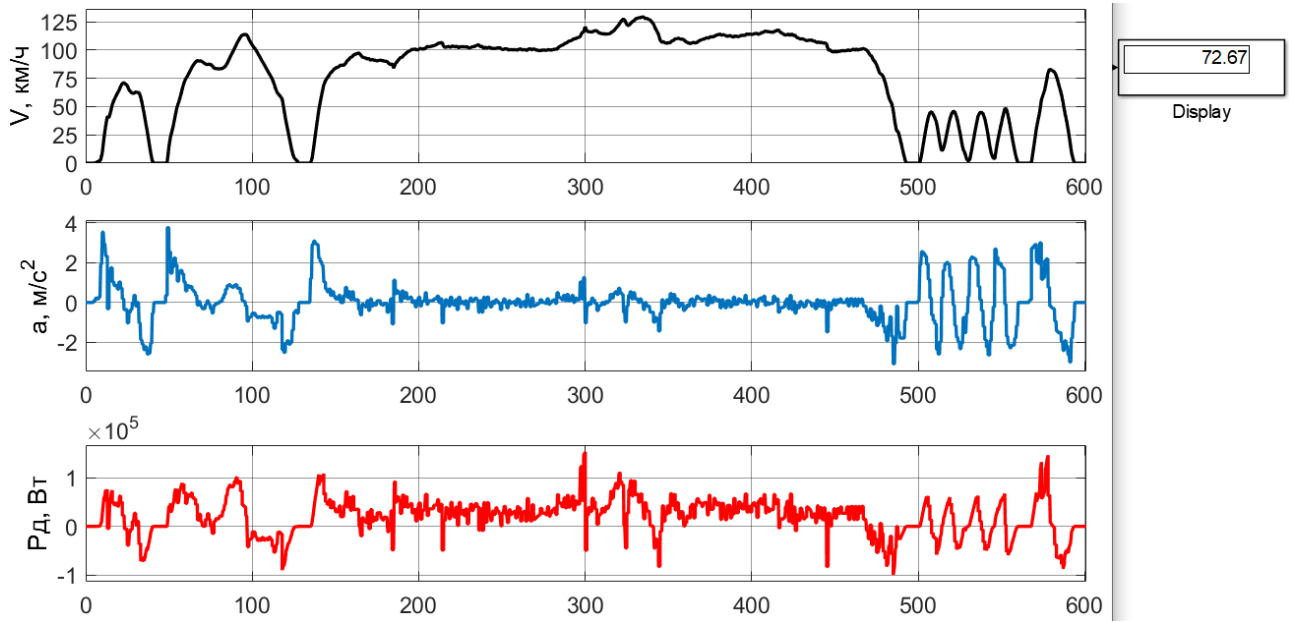
$$m_1 = 2060 + 4 \cdot 70 = 2340 \text{ кг.}$$

У другому випадку враховується максимальна вантажопідйомність автомобіля, яка, за паспортними даними, становить 542 кг. Тоді

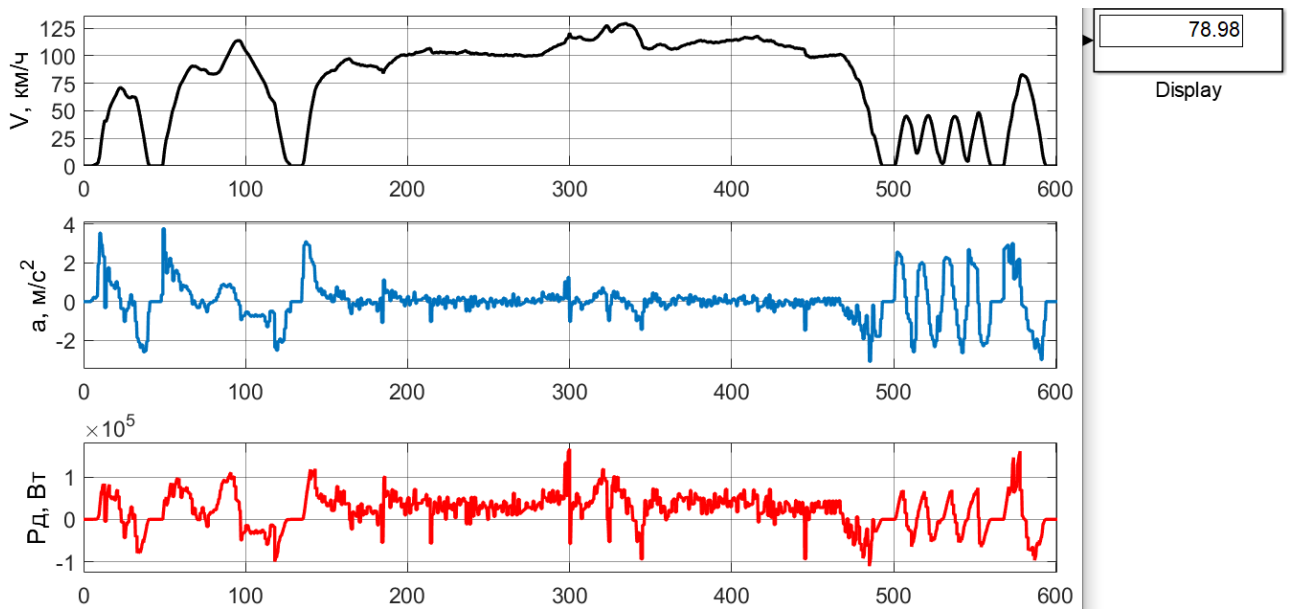
$$m_1 = 2060 + 542 = 2602 \text{ кг.}$$

Дослідження будуть проводитися для циклу US06, так як при великих значеннях параметрів, які досліджувалися при різних циклах руху, різниця буде відображено наочніше.

Діаграми циклу при різних масах відображені на рисунках 3.16 (а) та 3.16(б).



a)



б)

Рисунок 3.16 – Діаграми циклу руху при 2340 кг (а) та 2602 кг (б)

Як і у випадку циклів, для зручності створимо таблицю 3.6, де порівняємо деякі досліджувані параметри.

Таблиця 3.6 - Параметри циклу

Досліджувана величина	Одиниця виміру	Значення при масі m кг		
		2060	2340	2602
Максимальна швидкість	км/год	129	129	129
Максимальне прискорення	м/с ²	3,75	3,75	3,75
Максимальна електрична потужність	кВт	137,4	152,2	166,1
Середньоквадратична потужність	кВт	66,02	72,67	78,98

За даними таблиці видно, що зміна маси призводить до практично прямо пропорційної зміни максимальної та середньоквадратичної потужностей. Тобто:

$$\frac{2340}{2060} = 1,136 \neq \frac{152,2}{137,4} = 1,108 \neq \frac{72,67}{66,02} = 1,101.$$

Повній пропорційності перешкоджає аеродинамічна складова сил опору руху, де немає прямого обліку маси електромобіля.

При цьому при повній завантаженості електромобіля (2602 кг) необхідна середньоквадратична потужність двигуна становить 78,98 кВт. Ця величина більша за номінальну і меншу годинну потужність ТЕД «ОРІОН-18-2М-02», що дорівнює відповідно 69 і 83 кВт і менша за номінальну потужність «DTI-100H», що дорівнює 100 кВт. Це означає, що у разі максимальної завантаженості електромобіль не може довго працювати за циклом US06. Однак підтримувати рух упродовж тривалого часу цілком можливо.

3.5 Дослідження впливу профілю шляху

Хоча схил автошляху, як складова сил опору, і є доданком, він, на відміну від маси, протягом усього циклу руху може бути як позитивною величиною, так і негативною. Тому в міру проходження циклу витрати по потужності на подолання будь-якої ділянки шляху можуть бути як більшими за значення, яке враховувалося без ухилу, так і меншими за нього.

Відемні значення ухилу зменшать споживану потужність двигуна. Тому краще розглянути випадок, коли профіль шляху збільшує сили опору, щоб досліджувати залежність між цим самим ухилом та електричними потужностями.

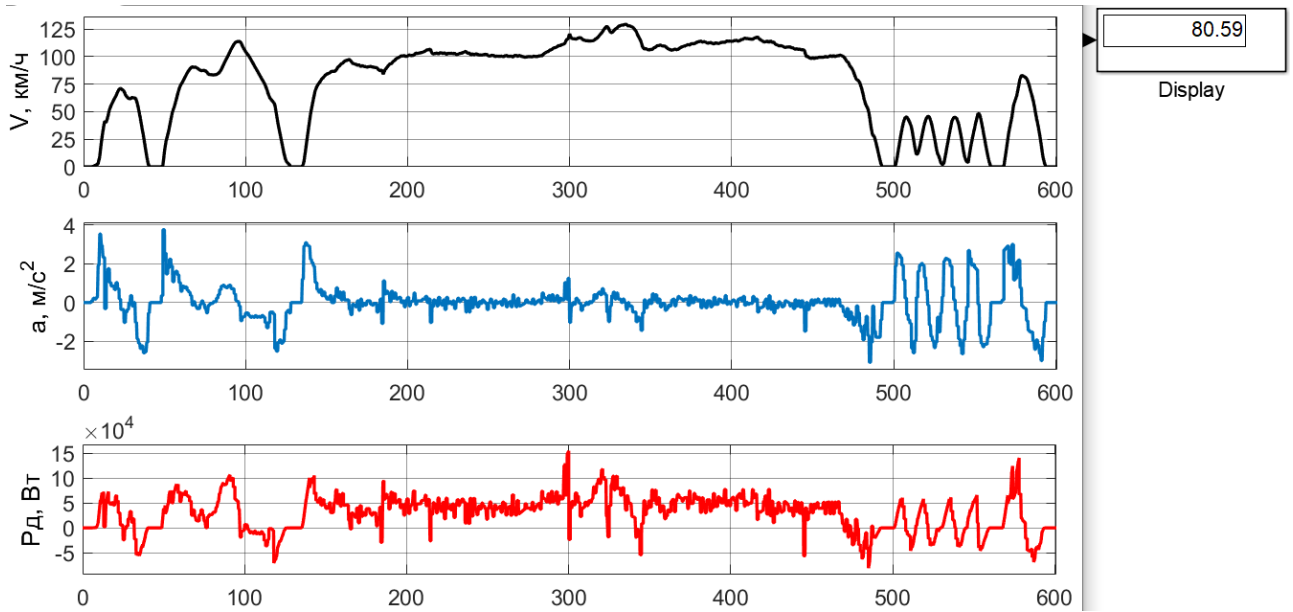
Проте, як говорилося раніше, величина ухилу протягом усього циклу може бути і найчастіше буває величиною не постійною. Тому необхідно знати середнє значення ухилу, яке можна використовувати вже до всього циклу.

Для знаходження цієї величини скористаємось програмою Google Earth Pro. З її допомогою, можна виділити ділянки шляху, якими відбувається пересування, і розглянути рельєф, який відповідає заданій ділянці.

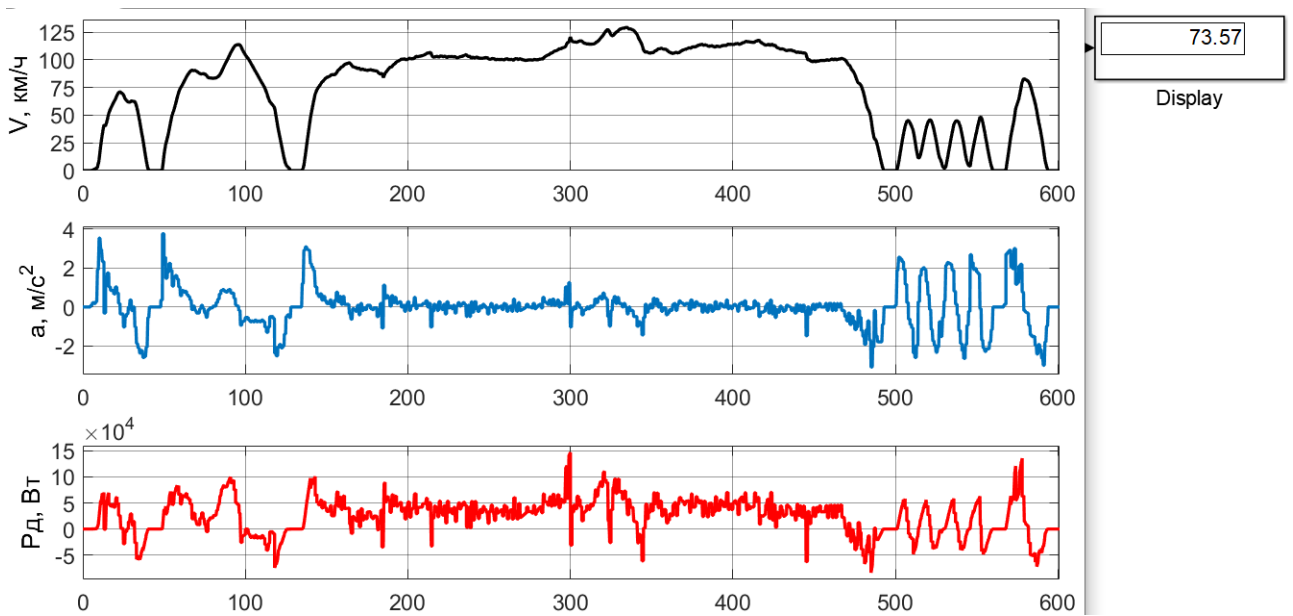
Оскільки під час дослідження впливу маси електромобіля на необхідну потужність ТЕД використовувався цикл US06, для аналізу впливу ухилу використовуємо цей цикл. Це також дозволить дізнатися про можливість руху електромобіля за максимальної «складності» з обраним обладнанням, тобто по самому «важкому» циклу, при повному завантаженні транспорту та підйомі. Так як вихідний цикл є заміським, то і шлях, яким пересуватиметься електромобіль, варто взяти за містом.

Протягом циклу US06 транспорт долає шлях, довжиною 12890 м

З урахуванням профілю колії, а також при масах електромобіля 2060 кг та 2602 кг отримаємо діаграми з дисплеєм, представлені на рисунках 3.17(а), 3.17(б) та 3.18.



а)



б)

Рисунок 3.17 – Діаграми циклу руху при масі 2060 кг та схілі 23 (а)
та 12,5 ‰ (б)

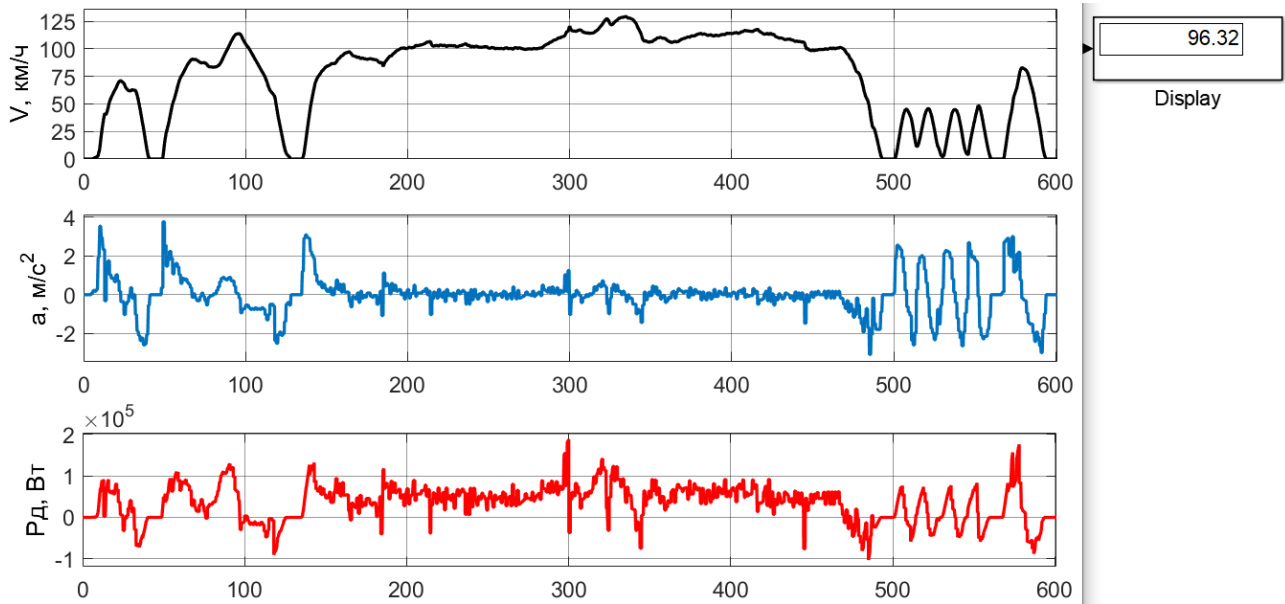


Рисунок 3.18 – Діаграма циклу руху при масі 2602 кг та схилі 23 ‰.

Як видно з рисунків, величина ухилу може суттєво вплинути на величину необхідної електричної потужності тягового двигуна. Проаналізуємо отримані параметри з допомогою таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Параметри циклу

Досліджувана величина	Одиниця виміру	Значення при схилі i , ‰			
		0	12,5	23	23
Маса	кг	2060	2060	2060	2602
Максимальна швидкість	км/год	129	129	129	129
Максимальне прискорення	м/с ²	3,75	3,75	3,75	3,75
Максимальна електрична потужність	кВт	137,4	146,8	154,4	187,3
Середньоквадратична потужність	кВт	66,02	73,57	80,59	96,32

Розрахунок моделі показав, що у разі повного завантаження електромобіля і під час руху на підйом виникає можливість перегріву двигуна – величина середньоквадратичної потужності становить 96,32 кВт, що більше годинної потужності двигуна «ОРІОН-18-2М-02», що дорівнює 83 кВт. Це

говорить про те, що потрібне збільшення потужності ТЕД (тяговий інвертор має номінальну потужність 100 кВт і тому продовжить безаварійну роботу). В іншому випадку це призведе до неможливості зберігати задану динаміку транспортного засобу.

Швидше слід допустити деяке зниження динамічних параметрів у реальних умовах експлуатації, ніж збільшувати потужність приводу. Адже в міських умовах руху ця потужність буде надмірною, що призведе до низького завантаження електрообладнання і, як наслідок, до зниження енергетичної ефективності всього приводу.

3.6 Висновки до розділу

1. У ході розрахунків необхідної електричної потужності тягового електродвигуна для електромобіля на основі автомобіля Mazda CX-5 використовувалися аналітичний метод та розрахунок за кривими руху, перевага якому була надана в ході порівняння рішень.

2. За результатами останнього вдалося визначити необхідну електричну потужність двигуна (68,17 кВт), визначити моделі синхронного тягового електродвигуна («ОРІОН-18-2М-02» з номінальною потужністю 69 кВт), який задовільняють заданою за методом вимогою, та тягового інвертора («ДТІ - 100Н» з номінальною потужністю 100 кВт) та їх характеристики.

3. У ході дослідження впливу вихідних даних на величини електричної потужності тягового електродвигуна виявлено такі результати:

1) для задоволення заданої за циклами US06, EUDC, ECE динаміки необхідна номінальна потужність електродвигуна та силового перетворювача повинна бути більшою за розрахункові середньоквадратичні значення, тобто 66,02; 37,58 та 11,96 кВт відповідно;

2) завантажений електромобіль (і у разі навантаження лише пасажирями, і у разі максимальною вагою) нескінченно довго їздити не зможе, однак у такому режимі можна пересуватися досить довгий час – перевищення

годинної потужності двигуна немає;

3) при русі під схил з масою більш спорядженою (2060 кг) необхідне обмеження в динаміці циклу, що раціональніше, ніж збільшення потужності синхронного двигуна.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Особливості електротравматизму, електричний струм як чинник небезпеки

Електротравми відбуваються при потраплянні людини під напругу в результаті доторкання до елементів електроустановки з різними потенціалами, чи потенціал яких відрізняється від потенціалу землі, в результаті утворення електричної дуги між елементами електроустановки безпосередньо, або між осінніми і людиною, яка має контакт з землею, а також в результаті дії напруги кроку [11].

Електротравми в загальному виробничому травматизмі складають біля 1 %, а в смертельному - біля 15-20 %. Останнє свідчить про зміщення виду електротравм у бік тяжких, що є однією з особливостей електротравматизму.

Особливістю електротравматизму є також те, що на електроустановки напругою до 1 кВ припадає до 70-80 % електротравм зі смертельними наслідками, а на електроустановки, пащ тою понад 1 кВ, - до 20-30 %.

Приведений розподіл електротравм за величиною напруги електроустановок обумовлюється не тільки більшою розповсюдженістю електроустановок напругою до 1 кВ, але, в більшій мірі, ще й тим, що такі установки доступні більшому загалу працівників, які мають недостатньо чіткі уявлення щодо небезпеки електричного струму та вимог безпеки при експлуатації електроустановок.

До установок, напругою понад 1 кВ, має доступ обмежена кількість працівників, які повинні мати достатній рівень підготовки з питань електробезпеки - відповідну вимогам чинних нормативів групу з електробезпеки.

В порівнянні з іншими видами травматизму, електротравматизму характерні такі особливості:

– людина не в змозі дистанційно, без спеціальних приладів, визначити наявність напруги, а тому дія струму, зазвичай, є раптовою, і захисна реакція організму проявляється тільки після потрапляння під напругу;

– струм, що протікає через тіло людини, діє на тканини і органи не тільки в місцях контакту зі струмопровідними частинами і на шляху протікання, але й рефлекторно, як надзвичайно сильний подразник, впливає на весь організм, що може призводити до порушення функціонування життєво важливих систем організму — нервової, серцево-судинної систем, дихання;

– електротравми можливі без дотику людини до струмопровідних частин — внаслідок утворення електричної дуги при пробі повітряного проміжку між струмопровідними частинами, або між струмопровідними частинами і людиною, чи землею;

– розслідуванню, обліку і аналізу, в основному, доступні тяжкі електротравми та електротравми зі смертельними наслідками, що негативно впливає на профілактику електротравм.

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

Перша медична допомога — це комплекс заходів, спрямованих на відновлення або збереження здоров'я потерпілих, здійснюваних немедичними працівниками (взаємодопомога) або самим потерпілим (самодопомога) [11]. Найважливіше положення надання першої допомоги — її терміновість. Чим швидше вона надана, тим більше сподівань на сприятливий наслідок.

Послідовність надання першої допомоги:

— усунути вплив на організм ушкоджуючих факторів, котрі загрожують здоров'ю та життю потерпілих, оцінити стан потерпілого;

— визначити характер та важкість травми, найбільшу загрозу для життя потерпілого і послідовність заходів щодо його рятування;

— виконати необхідні заходи з рятування потерпілих в послідовності терміновості (відновити прохідність дихальних шляхів, здійснити штучне дихання, провести зовнішній масаж серця);

— підтримати основні життєві функції потерпілого до прибуття медичного працівника;

— викликати швидку медичну допомогу або вжити заходів щодо транспортування потерпілого до найближчого лікувального закладу.

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

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

Заходи долікарської допомоги залежать від стану, в якому знаходиться потерпілий після звільнення від електричного струму. Після звільнення потерпілого від дії електричного струму необхідно оцінити його стан. У всіх випадках ураження електричним струмом необхідно обов'язково викликати лікаря незалежно від стану потерпілого.

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

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

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

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

Опустивши потерпілого на землю, необхідно відразу розпочати проведення штучного дихання та масажу серця і робити це до появи самостійного дихання і відновлення діяльності серця або передачі потерпілого медичному персоналу.

4.3 Сигнально-попереджувальні пристрої і фарбування обладнання

Для попередження про небезпеку застосовують звукові, світлові і кольорові сигнали. Сигнальні пристрої встановлюються в зонах видимості і слухового відчуття обслуговуючого персоналу. Сигнали небезпеки повинні чітко сприйматися у виробничій обстановці [11].

Нормативами визначаються *сигнальні і розпізнавальні* кольори. Основними *сигнальними кольорами* є червоний - забороняючий, засвідчуючий про безпосередню небезпеку, жовтий - зосереджуючий увагу і попереджуючий про можливу небезпеку і зелений - означаючий безпеку.

Розпізнавальними кольорами вважають зелений, червоний, синій, жовтий, оранжевий, фіолетовий, коричневий, сірий.

Розпізнавальні кольори наносять на технологічне підйом-но-транспортне обладнання, трубопроводи, елементи будівельних конструкцій та інші споруди.

Сигнально-попереджувальним фарбуванням (жовтими і чорними смугами) відмічаються елементи будівельних конструкцій і міжцехового транспорту. Так, жовто-чорною смугою позначаються низькі балки, виступи і перепади у площині підлоги, краю люків і колодязів, кабіни і перила кранів, вантажні гаки, бічні поверхні електрокарів, навантажувачів, візків, стріл автокранів.

Огородження небезпечних зон із зовнішнього боку фарбують в жовтий колір, із внутрішнього - в червоний.

Габарити проїздів, проходи і робочі місця на підлозі виробничих приміщень позначаються смугою чи штриховими лініями білого чи жовтого кольору.

Розпізнавальне фарбування однойменних струмоведучих шин у кожній електроустановці приймається однаковим.

При змінному струмі фаза А фарбується в жовтий колір, фаза В - зелений, фаза С - червоний, нульова (при ізолюваній чи заземленій нейтралі) - в чорний; при однофазному струмі провідник, під'єднаний до початку обмотки джерела живлення, - в жовтий, до кінця обмотки - в червоний; при постійному струмі позитивна фаза "+" - в червоний, негативна "-" - в синій, нейтральна - в білий.

Стандартами передбачена система знаків безпеки, які повинні використовуватися не тільки в промисловості, але й в інших галузях народного господарства, а також передбачені знаки, які є загальними для багатьох виробництв і професій, але у разі необхідності вони можуть бути

конкретизовані із використанням графічних зображень і надписів, що застосовуються в інших стандартах.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У ході виконання кваліфікаційної роботи бакалавра проводилися дослідження електроприводу електромобіля, який проектувався на базі автомобіля Mazda CX-5.

2. Розгляд електроприводу проводився як у загальному, так і зокрема, тобто взаємодія елементів приводу, як єдиної системи, та його окрема робота. За підсумками порівняльного аналізу серед різних типів тягових електричних двигунів та електричних перетворювачів, зроблено вибір на користь синхронного електродвигуна з постійними магнітами та тягового інвертора на IGBT-транзисторах з векторним керуванням.

3. Для визначення електричної потужності приводу проводилися розрахунки аналітичним методом та за допомогою циклів руху. За результатами останнього визначено попередню потрібну потужність, значення якої становить 68,17 кВт. Цій умові відповідають синхронний двигун «ОРІОН-18-2М-02» (69 кВт) та тяговий інвертор «DTI-100H» (100 кВт).

4. При проведенні досліджень впливу вихідних даних було виявлено, як форма циклу руху, маса транспортного засобу та профіль шляху впливають на параметри електромобіля. Визначено, що при максимальному завантаженні електромобіля виникає небезпека перегріву електродвигуна. У такому випадку наведено рекомендацію обмеження динамічних параметрів транспорту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Двигун постійного струму. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/ Двигун_постійного_струму](https://uk.wikipedia.org/wiki/Двигун_постійного_струму). Html.
2. YouTube. Принцип работы асинхронного электродвигателя [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=uXwamyaiUKo>
3. Щітково-колекторний вузол. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=25403>
4. Асинхронна машина. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.wiki.uk-ua.nina.az/Асинхронна_машина.html.
5. Синхронна машина. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://illustrationprize.com/uk/637-synchronous-machine.html>
6. IXYS Corporation. Preliminary Technical Information IXYK120N120C3 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://alltransistors.com/pdfdatasheet_ixys/ixyk120n120c3.pdf
7. Технічні характеристики MAZDA CX-5. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mazda-vidi.com.ua/ua/model-lineup/mazda-cx-5/configuration>.
8. Конструкция и расчёт электрического оборудования электроподвижного состава: учебник / В.В. Бирюков. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 328 с.: ил.
9. Основи розрахунків руху автомобілів дорогами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://road-project.okis.ru/file/road-project/LecturesOsnovy/Tema_2.pdf
10. Оцінка нормативних їздових циклів автомобілів з енергетичного балансу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: : <http://library.ziyonet.uz/ru/book/66732/>
11. Гандзюк, М. П. Основи охорони праці [Текст] : підручник / М. П. Гандзюк, Є. П. Желібо, М. О. Халімовський ; за ред. М. П. Гандзюка ; МОН України. – 4-е видання. – К. : Каравела, 2008. – 384 с. – ISBN 966-8019-01-6.