

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерної механіки, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Проект конструкції електричного інвалідного візка

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

Шифр БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент \_\_\_\_\_  
курсу група \_\_\_\_\_

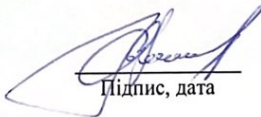


Підпис

Корецький А.С.  
ЕМ-20-2

Ініціали, прізвище

Керівник



Підпис, дата

Горященко С.Л.

Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

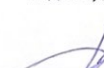


Підпис, дата

Пундик С.І.

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:



Підпис, дата

Поліщук О.С.

Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

17 06 2024 р.

Хмельницький 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

17.06.2024

З А В Д А Н Н Я  
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Корецький Андрій Сергійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Проект конструкції електричного інвалідного візка

керівник роботи Горященко Сергій Леонідович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 15 02 2024 р. № 8

2. Строк подання студентом роботи на кафедру

3. Вихідні дані до роботи напруга живлення 24 В, керування одною рукою

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

Вступ. 1. Огляд існуючих електромеханічних колісних крісел. 2. Розробка конструкції електричного візка. 3. Розрахунки елементів конструкції інвалідного візка. Висновки Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. Електричні інвалідні візки. (ДО, А1). 2 Корпус інвалідного візка (А1). 3. Моделювання електроприводу візка (ДП1, А1). 4. Електричний інвалідний візок (ВЗ, А1). 5. Проект електричного інвалідного візка. (ДП2, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

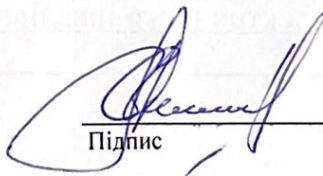
Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. <u>Огляд існуючих електромеханічних колісних крісел</u>	05.05.2024-15.05.2024	
2. <u>Розробка конструкції електричного візка</u>	16.05.2024-05.06.2024	
3. <u>Розрахунки елементів конструкції інвалідного візка</u>	06.06.2024-15.06.2024	
4. <u>Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу</u>	16.06.2024-20.06.2024	

Студент

  
Підпис

А.С. Корецький  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

С.Л. Горященко  
Ініціали, прізвище

## АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Курасевич Андрій Сергійович

2. Тема бакалаврської роботи  
Проект конструкції електричного інваріаційного вимірювача

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента \_\_\_\_\_

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 63

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки: 1. Огляд сучасних електронних пристроїв конструкції вимірювача. 2. Розробка конструкції електричного вимірювача. 3. Розробка електричної конструкції інваріаційного вимірювача. Висновки.

Підпис студента AK

"17" "06" 2024 р.

### РІШЕННЯ ЕК:

Протокол №2 від "26" "06" 2024 р.

Оцінка проекту ЕК добре / 0

Рекомендації ЕК виробляється у виробництві


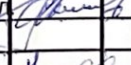


Особливі відмітки \_\_\_\_\_

Технічний секретар AK

"26" "06" 2024 р.

## Зміст

	Стр
1 Огляд існуючих електромеханічних колісних крісел.....	5
1.1 Інвалідний візок Invacare 3G Torque SP.....	6
1.2 PERMOBIL C500.....	7
1.3 Pride Mobility Products.....	9
1.4 Модель Ortonica Pulse 330.....	10
1.5 Активний інвалідний візок Una Wheel.....	11
1.6 Електроколяска Invacare Strom XS.....	12
1.7 Висновки до першого розділу.....	13
2 Розробка конструкції електричного візка.....	14
2.1. Аналіз систем електроприводу для візка.....	14
2.2 Розробка елементів конструкції інвалідного візка.....	23
2.3 Розробка моделі електроприводу.....	33
2.4 Висновки до другого розділу.....	37
3 Розрахунки елементів конструкції інвалідного візка.....	38
3.1 Розрахунки приводу.....	38
3.2 Розрахунок електричної машини.....	43
3.3 Модель силового модуля.....	44
3.4 Модель перетворювача.....	47
3.5 Висновки до третього розділу.....	57
Висновки.....	58
Перелік джерел посилань.....	59
Додаток А.....	62

				БРМА24.00.00.000ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Проект конструкції електричного інвалідного візка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Корецький А.			Б	3	63
Перев.		Горященко С.Д.					
Н. контр.							
Затв.		Поліщук О.С.		ХНУ, гр. ЕМ-20-1			

## ВСТУП

Україна, як і багато інших країн, стикається з серйозними викликами у забезпеченні повноцінного життя та інтеграції людей з обмеженими фізичними можливостями. За даними Державної служби статистики України, понад 1,5 мільйона осіб в країні потребують спеціального медичного обладнання, у тому числі електричних інвалідних візків, для здійснення щоденних рухових функцій. Незважаючи на існуючі моделі інвалідних візків, доступні на ринку, багато з них мають обмежені можливості адаптації до українських умов, особливо в міських умовах з нерівними дорогами та обмеженими можливостями для доступу до громадського транспорту та інфраструктури.

Розробка сучасного електричного інвалідного візка, спеціально адаптованого до потреб українських користувачів, є актуальною та важливою задачею. Такий візок має забезпечувати надійність, комфорт та безпеку під час щоденних переміщень, а також враховувати ергономічні вимоги та потреби користувачів з різними формами обмежень. Запровадження інноваційних технологій у конструкції електричного візка може значно полегшити життя та підвищити мобільність людей з обмеженими фізичними можливостями в Україні, сприяючи їхній інтеграції в суспільство та підвищенню якості їхнього життя.

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

## 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ КОЛІСНИХ КРІСЕЛ

Електромеханічні колісні крісла (ЕМК) призначені для того, щоб люди з обмеженими функціями верхніх або нижніх кінцівок могли самостійно пересуватися в приміщенні та на вулиці. Електроколяски можуть бути оснащені різноманітними функціями, такими як нахил всього крісла, нахил спинки, підйом сидіння та іншими функціями, які є корисними або необхідними для здоров'я. Електричні інвалідні візки класифікуються відповідно до їхніх ведучих коліс: задня, передня, центральна вісь і чотири ведучі колеса. Кожен тип має свої особливості водіння; ЕКЗ також відрізняються за типом сидіння: деякі схожі на звичайне сидіння для інвалідного візка, інші - на автомобільне сидіння; конструкції ЕКЗ варіюються від невеликих портативних інвалідних візків, які можна скласти і розбирати, до дуже великих і важких моделей з усіма функціями моделей (їх зазвичай називають реабілітаційними візками). Користувач зазвичай контролює швидкість і напрямок руху за допомогою джойстика, підключеного до контролера на одному з підлокітників, залежно від того, якою рукою він вважає за краще керувати інвалідним візком. Якщо немає можливості керувати візком руками, можна використовувати інші пристрої введення, наприклад, пристрій для керування візком за допомогою підборіддя. Спочатку інвалідні візки не були призначені для перенесення, і їх було дуже важко розбирати. Сьогодні багато ЕКЗ є портативними, а деякі з них дуже легко розбираються. Оскільки потреби користувачів зростають, з'являються також ЕКЗ, які можна використовувати як на вулиці, так і вдома.

Найбільшими міжнародними виробниками електричних інвалідних візків є Invacare Corp, Permobil AB і Pride Mobility Products Corp. [1-3]

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

## 1.1 Інвалідний візок Invacare 3G Torque SP

Invacare - найбільша у світі компанія з виробництва медичного та реабілітаційного обладнання. Завдяки якості своєї продукції та її пристосованості до специфічних потреб людей з інвалідністю, компанія займає провідні позиції на багатьох ринках. Invacare пропонує широкий асортимент ручних та механічних інвалідних візків. Продукція компанії характеризується функціональністю, якістю, надійністю та безпекою. Invacare отримала численні нагороди за дослідження та інновації [1].



Рисунок 1.1 - Інвалідний візок Invacare 3G Torque SP

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Інвалідні візки Invasage живляться від акумуляторної батареї і можуть проїхати від 23 до 42 км залежно від моделі та додаткових опцій. Акумулятор заряджається від звичайної розетки. Рівень заряду акумулятора можна перевірити за допомогою світлодіодного індикатора заряду. Висота перешкод, які можуть долати електричні інвалідні візки Invasage, коливається від 10 до 60 мм (візок підвищеної прохідності). Швидкість пересування становить 6-10 км/год, але слід пам'ятати, що гальмівний шлях інвалідного візка становить 1 м. Необхідно ретельно стежити за станом заряду акумулятора. Це можна зробити за допомогою спеціального світлодіода, розташованого біля кнопки включення. При низькому рівні заряду коляску можна використовувати як транзитну. Мінімальний радіус розвороту забезпечує маневреність коляски та прохідність по пересіченій місцевості.

## 1.2 PERMOBIL C500

Permobil є лідером у галузі виробництва електромеханічних інвалідних візків вже понад 45 років. Компанія характеризується багатьма інноваціями та впливом у розробці рішень для людей з обмеженими можливостями. Електромеханічні інвалідні візки компанії можна умовно розділити на дві групи: вуличні та домашні. Вироби для вулиці значно відрізняються від звичайних електричних інвалідних візків. Ці потужні електричні інвалідні візки можуть безпечно перевозити користувачів далеко від рівних доріг. Вони оснащені потужними електродвигунами, енергоємною підвіскою та великими акумуляторами і можуть довго і плавно рухатися зі швидкістю до 15 км/год. Завдяки системі покращення керованості, вуличний візок Permobil пропонує найкращі характеристики на дорогах та бездоріжжі. Модель може перевозити людину вагою до 136 кг і проїжджати 30-45 км на одному заряді зі швидкістю до 15 км/год. Для комфорту користувача передбачена система нахилу всього

									Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА24.00.00.000ПЗ				7

крісла, а також сидіння і спинки окремо. Домашні моделі простіші в управлінні. Поєднуючи в собі простоту використання, сучасний дизайн і комфорт, ці моделі підходять не тільки для домашнього використання, але і для використання на відкритому повітрі на рівних поверхнях. Легко маневрені навіть в обмеженому просторі, електричні крісла поєднують в собі потужний двигун з вдосконаленою базою, що забезпечує відмінну продуктивність в дорозі. Такі моделі є універсальним вибором для більшості застосувань. Крісла-каталки — високоякісне медичне обладнання, яке щоденно використовують лікарі у всьому світі, щоб допомогти тисячам пацієнтів. Представлена модель С500 створена PERMOBIL з використанням сучасних провідних технологій [2].



Рисунок 1.2 – PERMOBIL модель С500

						Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА24.00.00.000ПЗ	8

### 1.3 Pride Mobility Products

Pride Mobility Products - один зі світових лідерів у розробці та виробництві засобів пересування для людей з обмеженою рухливістю.

Продукція компанії ретельно розроблена та протестована і включає в себе технологічно інноваційні функції для зручності користувачів. Електричні інвалідні візки компанії (рис.1.3) легкі, маневрені та зручні для повсякденного використання на рівних поверхнях, як в приміщенні, так і на вулиці [3].



Рисунок 1.3 - Модель JAZZY SELECT 6 від Pride Mobility Products

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Модель Jazzy Select 6 пропонує переваги переднього приводу та максимальну стабільність. Активна гусенична підвіска та 6-дюймові передні та задні колеса забезпечують чудові характеристики як у приміщенні, так і на вулиці. Широкий спектр стандартних функцій робить цей візок простим у використанні.

#### 1.4 Модель Ortonica Pulse 330

Модель Ortonica Pulse 330 має високу вантажопідйомність і великий запас ходу на одному заряді, але швидкість до 5 км/год нижча, ніж у моделей інших виробників (рис.1.4).



Рисунок 1.4 - Модель Ortonica Pulse 330

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Він може долати перешкоди висотою до 5 см і оснащений ременем безпеки, що робить його придатним для використання на дорозі.

### 1.5 Активний інвалідний візок Una Wheel

Цікавою розробкою в активних інвалідних візках є пристрій Una Wheel (рис. 1.5), який дозволяє оснастити візок приводними колесами. Una Wheel - це електричне колесо потужністю 350 Вт з рамою, що кріпиться спереду інвалідного візка. Воно підходить для більшості активних інвалідних візків (з фіксованими підніжками). Встановлення не потребує допомоги доглядача і займає приблизно 30 секунд. Поєднання невеликої ваги та акумуляторної батареї великої ємності дозволяє пацієнту вагою до 100 кг проїхати до 35 км на одному заряді.



Рисунок 1.5 - Una Wheel для активних інвалідних візків

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

## 1.6 Електроколяска Invacare Strom XS

Invacare Storm XS (рис. 1.6) одна з перших моделей в серії. Вона є комбінованою (для використання як в приміщенні, так і на вулиці) та має індивідуальний привід на задні колеса Draco - це сучасний вертикальний електричний візок з усіма функціями, що забезпечують безпечно та комфортно переміщення, положення стоячи, сидячи, напівлежачи та лежачи. З Draco пацієнти можуть спати в положенні лежачи, мінімізуючи ризики та зусилля, пов'язані з пересуванням протягом дня. Він повністю приводиться в рух у вертикальному положенні лежачи, стоячи, сидячи і лежачи; вісім коліс забезпечують відмінну стійкість, особливо коли пацієнт лежить; п'ятишвидкісне управління і швидкість руху до 8 км/год (15 миль/год); на повному заряді автомобіль може проїхати до 30 км (18,5 миль); користувач може розташовуватися в різних положеннях, в тому числі лежачи на підлозі, в горизонтальному положенні, у вертикальному положенні або в горизонтальному положенні, з можливістю пересування в горизонтальному положенні. Динамічний світлодіодний графічний контролер (DX2) для точного керування користувачем. Автоматичне перемикачання на низьку швидкість у положенні стоячи або лежачи для безпеки. Електричні колеса з центральним розташуванням для зменшення радіусу повороту; доступні сидіння шириною 14, 16 і 18 дюймів з декількома регульованими елементами для пристосування до різних розмірів тіла. Підставки для ніг, підлокітники і спинка рухаються одночасно, тому при переході з положення стоячи в положення сидячи або лежачи м'язи не перенапружуються. Колінний ремінь, ремінь для литок, нагрудний ремінь і ремені безпеки входять в комплект (додатково доступні стегновий ремінь, ремені для щиколоток і Н-подібні ремені). Безпека завжди стоїть на першому місці при розробці цього стильного дизайну, тому для забезпечення довговічності та стандартів безпеки використовується тільки високоякісний авіаційний алюмінієвий сплав. Інші

									Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА24.00.00.000ПЗ				12

унікальні особливості Регульований кут нахилу підніжки розтягує литкові м'язи та сухожилля, коли ви стоїте. Регульована глибина сидіння та висота підставки для ніг для користувачів різного зросту та довжини ніг. Тришарова пінопластова амортизація та підтримка спини для додаткового комфорту. Пружинна підвіска для підвищеного комфорту на нерівній поверхні. Регульований та знімний підголівник.



Рисунок 1.6 - Інвалідний візок Draco з вертикалізаторами.

### 1.7 Висновки до першого розділу

Проведено огляд технічних рішень електроприводу для інвалідних візків. Розглянуті сучасні варіанти електровізків. Визначено, що потужність електроприводу може бути в межах 350-500 Вт.

Обрано подальші напрямки розробки електроприводу для електричного інвалідного візка.

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

## 2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО ВІЗКА

### 2.1. Аналіз систем електроприводу для візка

Одним з важливих моментів, що враховуються при проектуванні транспорту, є правильне розташування осей, що відповідає завданням, які виконує транспорт. Наприклад, задня частина потужного тягача, призначеного для буксирування величезного причепа, може бути завантажена спеціально для забезпечення кращого зчеплення ведучих коліс. Коли більшість власників автомобілів 80-х тільки чули про зимові шини, найдосвідченіші з них завантажили в багажник 1 дюжину цегли. Але в технічних характеристиках дорожніх спортивних автомобілів відображення ваги на осі є таким же звичним параметром, як максимальна швидкість або витрата палива.

Для інвалідного візка показник ваги також дуже важливий, по-перше, для стійкості при посадці, а по-друге, для рівномірного зносу деталей. До тих пір, поки візок не був оснащений електродвигуном і акумулятором, центр ваги завжди знаходився в сидінні і не був предметом обговорення. У електровізках є ще одна проблема: якщо одне з коліс перевантажено, відбувається збій в розміщенні пристрою, його керованість і, отже, безпеку руху значно погіршуються. В даний час використовується значна кількість схем, кожна з яких має свої переваги та недоліки.

Якщо звернути увагу на заводські електричні візки, то можна побачити, що більшість моделей оснащуються тільки заднім приводом і невелика кількість переднім. В першу чергу, це пов'язано з конструкцією візка та рами. Така конструкція не підходить в якості опори для електродвигуна, вбудованого в маточину колеса, особливо при високій потужності, оскільки він не витримує такого ж навантаження в порівнянні з задніми колесами.

Для установки акумулятора на візок в заводській конструкції потрібно вдосконалити раму. Зазвичай їх варто розташовувати під сидінням.

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

У просторі, утвореному між підсідельною трубою і заднім колесом, поміщається коробка з літєвим або свинцево-кислотним акумулятором. Навантаження на задню вісь збільшується, але в заводських моделях в більшості випадків використовується мотор-колесо-редуктор потужністю 200-350 Вт, а його вага становить 3-4 кг, тому він збільшується незначно. Крім того, акумуляторний відсік також закріплений поблизу центру ваги електровізка, що практично не погіршує керованість. Ця конструкція є класичною і, здається, найкраще підходить, особливо коли важкі гелево-свинцево-кислотні акумулятори використовуються як джерело енергії. Тому розглянемо схему, яка передбачає установку коробки з літєвою батареєю безпосередньо на листову трубу внизу під сидінням.

Якщо в електровізку використовуються легкі літєві батареї, то до класичної компоновці додуються ще кілька:

1) Колісний двигун встановлений ззаду, а акумулятор вбудований в задній багажник. Така схема дозволяє виробникам використовувати стандартні рами. Головне, що модель може бути оснащена багажником. Час їзди на електровізку в такій конфігурації, звичайно, зміщується назад, але це всього лише класична схема з розташуванням свинцево-кислотної батареї.

2) Двигун на колесах встановлений спереду, а акумулятор вбудований ззаду. Така схема дозволяє не тільки підтримувати ідеальний розподіл ваги, але і перетворити електровізок в повнопривідний, оскільки передні мотор-колеса в цьому випадку доповнюють задній привід.

3) Мотор-колесо встановлено ззаду, а акумулятор - всередині рами. Така схема дозволяє підтримувати нормальне балансування, не займаючи багажник з акумулятором. Вона часто використовується на посиленіх електровізках, розрахованих на підвищені навантаження, наприклад, для перевезення невеликих вантажів.

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

4) Мотор-колесо встановлено спереду, а акумулятор - всередині рами. Така схема трохи погіршує проведення часу і збільшує навантаження на передні колеса, але звільняє багажник.

5) Підвісний мотор встановлений в районі крісла, і крутний момент від нього передається на задні колеса за допомогою додаткової ланцюга і окремої зірочки на колесі. Акумуляторний відсік також розташований поруч. Електровізки подібної компоновки відрізняються відповідним малим часом роботи, та невеликою вартістю. Така схема часто використовується в складних моделях візків.

6) Для повноти картини згадаємо моделі з фрикційними електроприводами, в яких електродвигун передає крутний момент безпосередньо на 1 шину колеса через гумовий ролик, деякі моделі з величезною шестернею, діаметр якої збігається з діаметром ободу. В цьому випадку крутний момент на овід з шестернею передається не гумовим роликом, а шестернею меншого розміру, підключеної до електродвигуна.

Існує також спосіб розміщення не тільки електродвигуна, але і контролера і навіть акумулятора в колесі. Технологія називається "Копенгагенське колесо", на честь міста, яке було вперше продемонстровано. Колеса Copenhagen дозволяють вам електрифікувати будь-який засіб з мінімальними зусиллями, вибравши відповідний по діаметру двигун з контролером і акумулятором.

### 2.1.1 Будова мотор-колеса

Всі мотор-колеса самоката являють собою безщітковий двигун постійного струму випереджаючого типу. Всередині знаходиться статор з обмоткою. Він оточений циліндричним ротором з постійним магнітом. У

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

звичайному двигуні внутрішнього згоряння все навпаки: статор з обмоткою знаходиться зовні, а ротор з магнітом обертається всередині.

На самокатах, як приклад, вісь нерухома, тому для мотор-коліс підходить тип outrunner. В іншому випадку двигун буде сконструйований так само, як і звичайний безщітковий двигун.

Положення ротора визначається датчиком Холла. Контролер аналізує інформацію з датчика і подає напругу на відповідну групу котушок ротора. Так виникають електромагнітні сили. Він діє на магніти на роторі і обертає їх разом з колесами.

Існує 2 типи мотор-коліс для електрохода:

- З прямим приводом (direct drive);
- З вбудованою планетарною коробкою передач (geared).

При використанні двигуна з прямим приводом ротор міцно прикріплений до самого колеса. Така конструкція простіше і дешевше, але крутний момент невеликий. Під навантаженням ці двигуни повільно збільшують оберти, але дозволяють добре розігнатися.

У мотор-редукторі колесо з'єднане з корончатою шестернею планетарної коробки передач. Ротор двигуна обертає не саме колесо, а центральну (сонячну) шестерню коробки передач. Він передає обертання на корончатую шестерню-з меншою швидкістю і великим крутним моментом.

Мотор-колеса з редуктором дорожче, важче і гучніше. Їх ККД на 4-5% нижче. Зате вони швидше розганяються. Крім того, з ними скутери легко підіймаються на пагорби і долають складні ділянки, такі як бруд, сніг і бездоріжжя. Однак максимальна швидкість скутера з мотор-редуктором не найкраща.

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

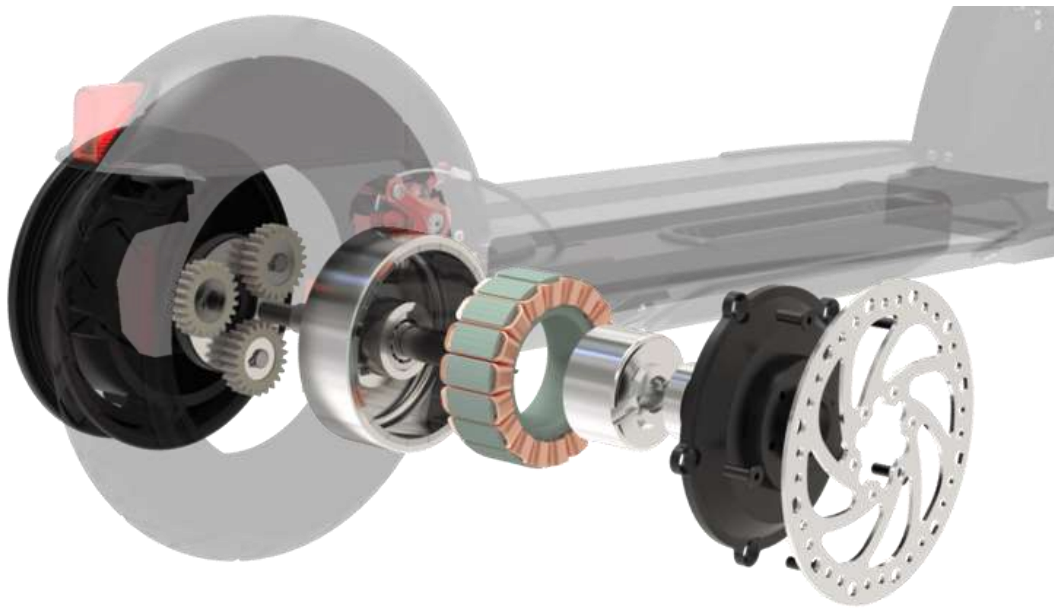


Рисунок 2.1 - Мотор-колесо з редуктором

Відомо, що більшість скутерів мають прямий привід. Діаметр їх коліс невеликий, тому їм не потрібен великий крутний момент. Але якщо потужність двигуна мала, скутеру при старті доведеться допомагати нозі. Але подальше прискорення на гладкому асфальті легко забезпечується прямими приводами. Для нашого візка проблеми такіж.

Ще однією особливістю мотор-колеса з прямим приводом є електричне гальмо і можливість відновлення ходу. Рекуперація також присутня в моделях редукторів, але це ускладнює конструкцію.

Напруга не потрібна для запуску двигуна з прямим приводом. Навпаки, двигун починає працювати в режимі генератора і виробляє енергію. Вироблена енергія може бути спрямована на підзарядку акумулятора. Звичайно, якщо контролер зможе визначити такий режим роботи мотор-колеса. Внутрішній опір акумулятора невелика і витримує великі струми. В цьому випадку в обмотці виникає електромагнітна сила, спрямована проти обертання магніту. Колесо гальмується і і 2 функції для відновлення.

										Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА24.00.00.000ПЗ					18

По-перше, застосовується м'яке гальмування, без нагрівання або зносу колодок. Це особливо важливо на довгих спусках, де механічні гальма перегріваються.

По-друге, кінетична енергія візка, що розігнався, не буде витрачена даремно і повернеться в акумулятор. Збільшення потужності незначно, в залежності від режиму роботи, воно становить близько 5-10%. Але, тим не менш, це додатковий пробіг в кілька кілометрів.

Відновлення також має свої недоліки. Мотор-колесо з прямим приводом надійно обертається при відсутності живлення. Переміщуватись на електричному візку з розрядженою батареєю набагато складніше, ніж на звичайному.

### 2.1.2 Потужність двигуна

З потужністю мотор-колеса все відбувається практично так само, як і зі звичайним електродвигуном. Чим більше у вас обмоток, тим більший струм ви зможете пропустити. І вище максимальна потужність двигуна. Потужні двигуни більші, важчі та дорожчі.

Чим потужніший двигун, тим більшу вагу він може витримати. Максимальна швидкість залежить від потужності, але тут є свої тонкощі.

По-перше, швидкість може бути обмежена програмно самим контролером. Але в цілях безпеки візок не повинен рухатися швидше 10 км/ч. зазвичай такі показники вказані в керівництві по експлуатації.

По-друге, візки з мотор-редукторами розвивають меншу максимальну швидкість, ніж з прямим приводом. Навіть якщо у них двигун однакової потужності. При потужності в 200-250 Вт він може розігнатися до 20-25 км/год, але тільки на рівній і гладкій поверхні. На дорогах, що йдуть в гору або з нерівностями все залежить від ваги пасажира і типу приводу. Тому візок з прямим приводом не завжди здатний підняти на гірку велику людину вагою

									Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА24.00.00.000ПЗ				19

90 кілограмів. Мотор-колеса з шестерним приводом однакової потужності здатні розганяти як на підйомі, так і на нерівних дорогах. Але максимальна швидкість навряд чи перевищить 10 км/ч. потужність в 300-500 Вт дозволяє дорослому чоловікові переміщуватись у гору. Це оптимальний варіант для міста.

Основні критерії вибору мотор-колеса:

1) Потужністю від 250 до 500 Вт для кожного колеса забезпечить достатню потужність для руху і подолання перешкод.

2) Напруга рекомендовано від 24В або 36В. Вищі напруги можуть забезпечити кращу ефективність, але 24В системи є більш поширеними і безпечними.

3) Крутний момент важливий для подолання ухилів і пересіченої місцевості.

4) Діаметр колеса, який відповідає конструкції інвалідного крісла. Зазвичай використовують колеса діаметром 30-40 см.

3) Мотор-колеса мають вбудований контролер, що спрощує установку і зменшує кількість необхідних компонентів.

Рекомендації щодо мотор-колес зведені у таблицю 2.1

Таблиця 2.1 – Порівняння мотор-колес

	Потужність	Напруга:	Діаметр колеса	Особливості
1	2	3	4	5
MXUS XF07	250 Вт	24В/36В	16-20 дюймів	Крутний момент високий, підходить для інвалідних крісел
BAFANG SWXH	350 Вт	24В/36В	16-20 дюймів	Безщітковий мотор, тихий і ефективний

1	2	3	4	5
Golden Motor Magic Pie	500 Вт	24В/36В/ 48В	12-20 дюймів	Вбудований контролер, програмована система, високий крутний момент
Q100H	350 Вт	24В/36В	16-20 дюймів	Легкий і компактний, підходить для невеликих інвалідних крісел

Попередній розрахунок параметрів мотор-колеса для електричного інвалідного крісла

Для розрахунку параметрів мотор-колеса для електричного інвалідного крісла необхідно врахувати кілька важливих факторів, таких як потужність, крутний момент, швидкість, і електричні характеристики.

Потужність мотор-колеса визначає його здатність рухати крісло з користувачем. Потужність (P) обчислюється як добуток крутного моменту (T) і кутової швидкості ( $\omega$ ):

$$P = T \cdot \omega$$

де:

P — потужність в ватах (Вт)

T — крутний момент в ньютон-метрах (Н·м)

$\omega$  — кутова швидкість в радіанах за секунду (рад/с)

Крутний момент необхідний для подолання опору руху, який включає вагу користувача, опір тертю, і інші фактори. Крутний момент (T) обчислюється за формулою:

$$T = F \cdot r$$

де: T — крутний момент в Н·м F — сила (вага користувача) в ньютонах (Н) r — радіус колеса в метрах (м)

Кутова швидкість ( $\omega$ ) обчислюється на основі лінійної швидкості (v) і радіуса колеса (r):

$$\omega = v / r$$

де:  $\omega$  — кутова швидкість в рад/с  $v$  — лінійна швидкість в м/с  $r$  — радіус колеса в м.

Споживання струму ( $I$ ) мотор-колеса визначається потужністю і напругою живлення ( $V$ ):

$$I = P / V, \quad (2.1)$$

де:  $I$  — струм в амперах (А);

$P$  — потужність в ватах (Вт);

$V$  — напруга в вольтах (В).

Ми маємо інвалідне крісло з наступними параметрами:

Вага користувача і крісла: 100 кг;

Радіус колеса: 0.3 м ;

Лінійна швидкість: 1.5 м/с (приблизно 5.4 км/год) ;

Напруга живлення: 24 В;

Сила ( $F$ ) визначається як вага користувача і крісла (маса помножена на гравітаційне прискорення):

$$F = m \cdot g = 100 \text{ кг} \cdot 9.81 \text{ м/с}^2 = 981 \text{ Н}$$

Обчислення крутного моменту:

$$T = F \cdot r = 981 \text{ Н} \cdot 0.3 \text{ м} = 294.3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Обчислення кутової швидкості:

$$\omega = v / r = 1.5 \text{ м/с} / 0.3 \text{ м} = 5 \text{ рад/с}$$

Обчислення потужності:

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$P = T \cdot \omega = 294.3 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot 5 \text{ рад/с} = 1471.5 \text{ Вт}$$

Обчислення споживання струму:

$$I = P / V = 1471.5 \text{ Вт} / 24 \text{ В} = 61.31 \text{ А}$$

Для графічного представлення розрахунків можна побудувати графіки залежності потужності від швидкості, струму від потужності тощо.

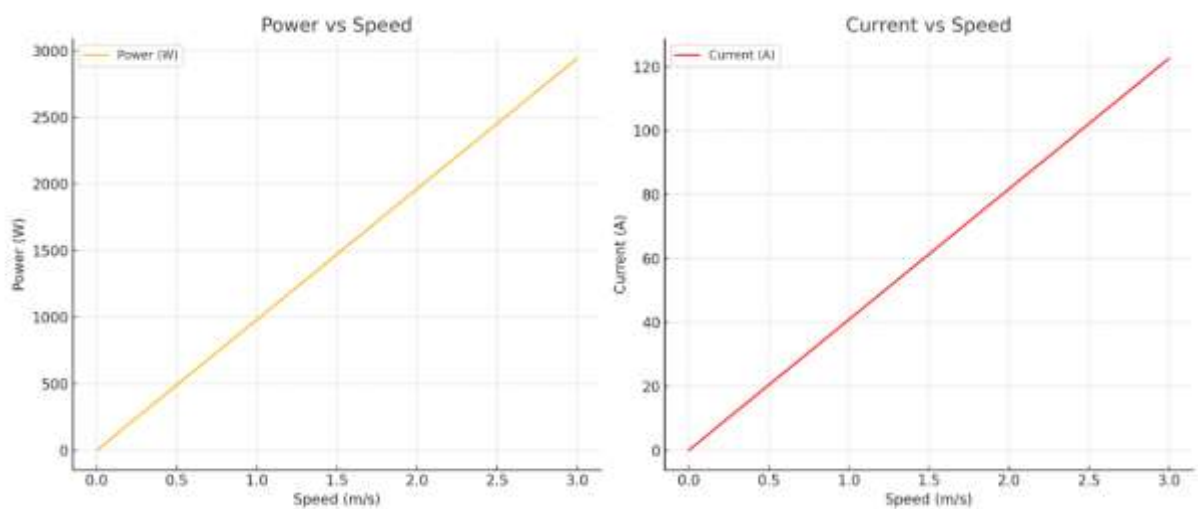


Рисунок 2.2 - залежність потужності і струму від швидкості для інвалідного крісла

## 2.2 Розробка елементів конструкції інвалідного візка

Для подальшої розробки обираємо переднепривідну схему електроприводу інвалідного візка. У такому разі важкий акумулятор та інше обладнання слід розташувати під сидінням.

Розробку будемо робити у програмному середовищі SolidWorks. Основу корпусу, що спроектована показана на рис.2.2, вона виконана з штампованого листового металу та несучої зварної рами.

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

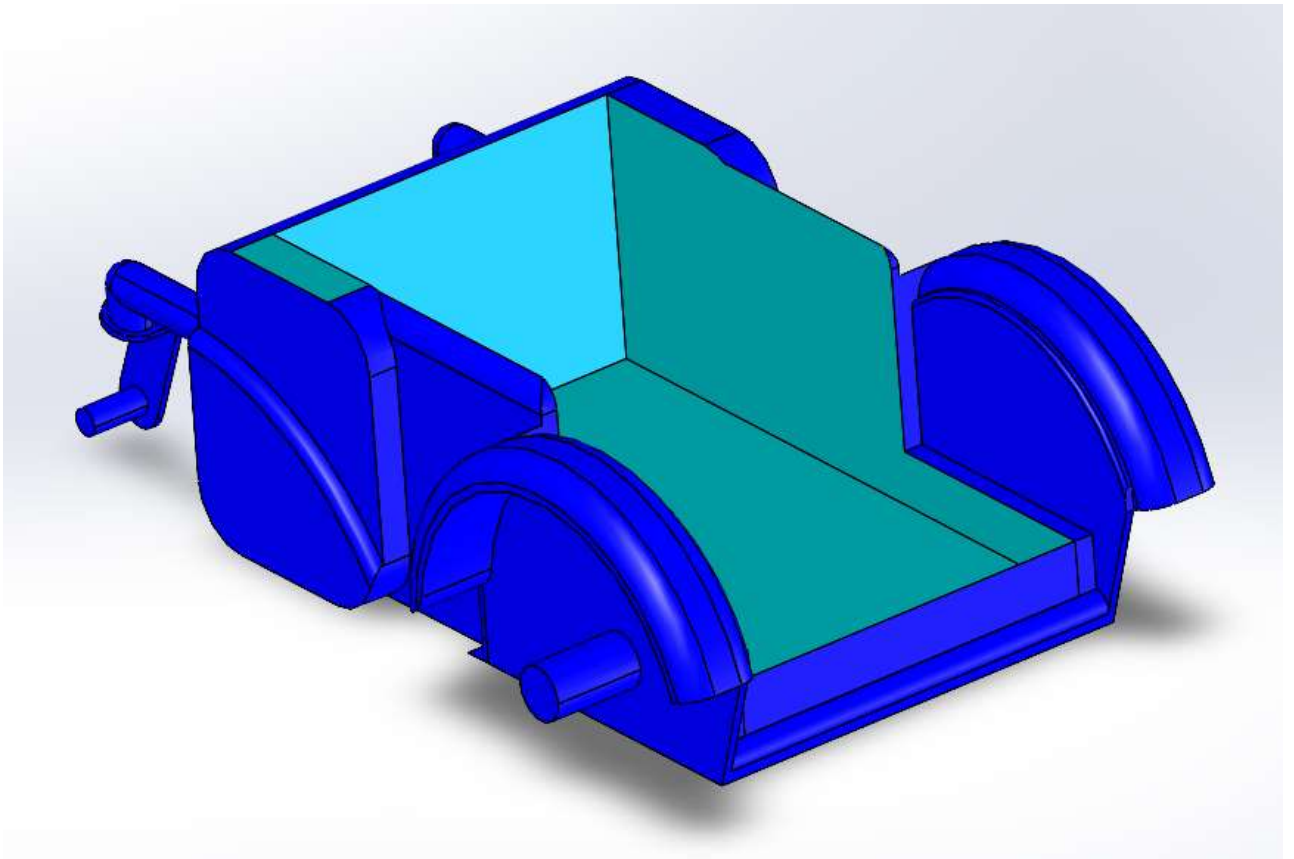


Рисунок 2.3 – Корпус електровізка

Для інвалідних візків, які мають бути легкими, міцними і корозійно стійкими, найкращими варіантами є алюміній і титан для корпусу. Алюміній пропонує хороший баланс між вартістю і характеристиками, тоді як титан є більш преміальним вибором з кращими характеристиками, але за вищою ціною. Для нашого проєкту виберемо алюміній.

Внутрішня робоча порожнина розроблена з урахуванням розмірів тих елементів, що будуть частиною електроприводу.

Так наприклад акумуляторна батарея має розміри 170ммX250ммX200 мм., показана на рис. 2.4. в нашому випадку це 2 батареї по 12 В включені послідовно і з'єднані в одну батарею на 24 В.

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

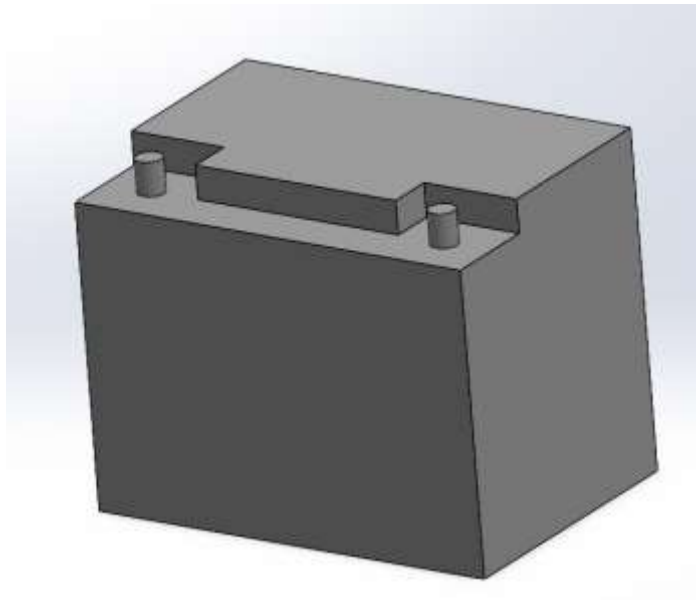


Рисунок 2.4 -Акумуляторна батарея

Крім батареї там буде встановлено два перетворювача-драйвера для двигунів, що мають розміри 80ммX200ммX70 мм.

Їх задача живити мотор колесо відповідною напругою та струмом, керування яким буде здійснюватися платою Arduino. Враховуючі, що маємо два мотор-колеса, які мають керуватись окремо, то, відповідно, має бути два перетворювача – драйвера двигуна (рис.2.5).



Рисунок 2.5 – Перетворювач-драйвер для двигуна

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

В якості приводу вибираємо мотор-колемо потужністю 250 Вт. Модель такого колеса показана на рис.2.6

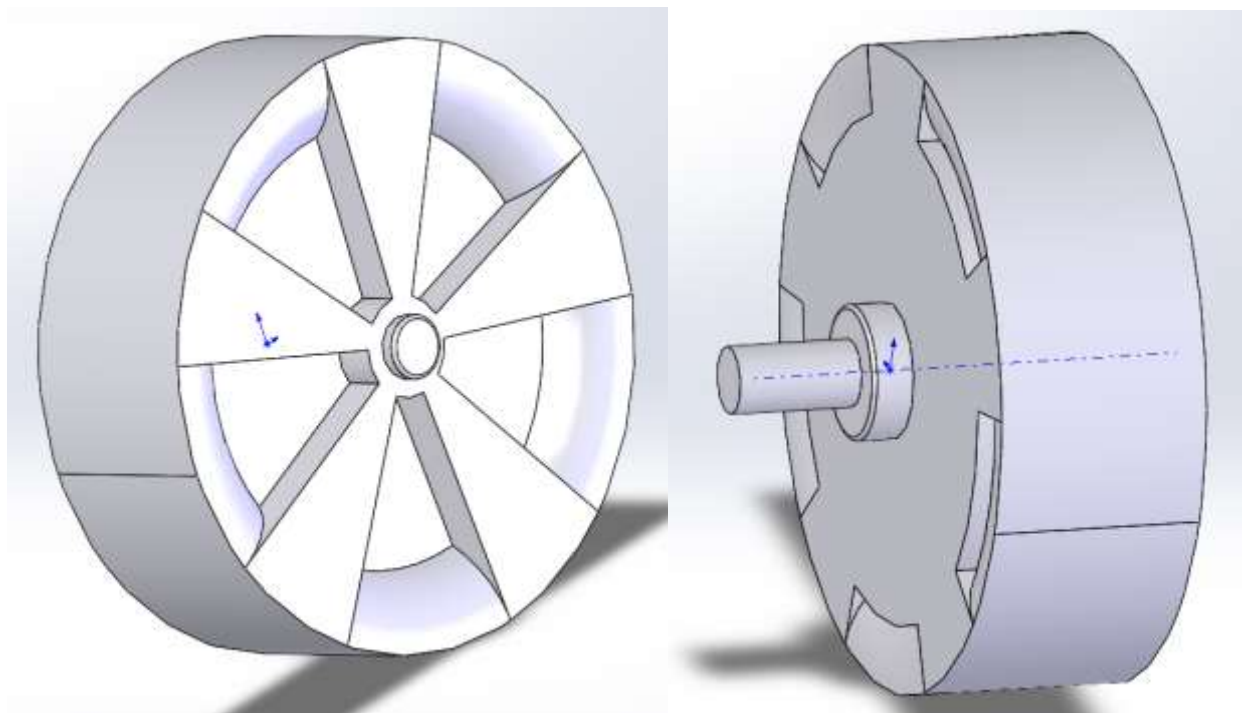


Рисунок 2.6 – Мотор колесо

Саме мотор-колемо ще має гумову шину, модель якої показана на рис. 2.7.

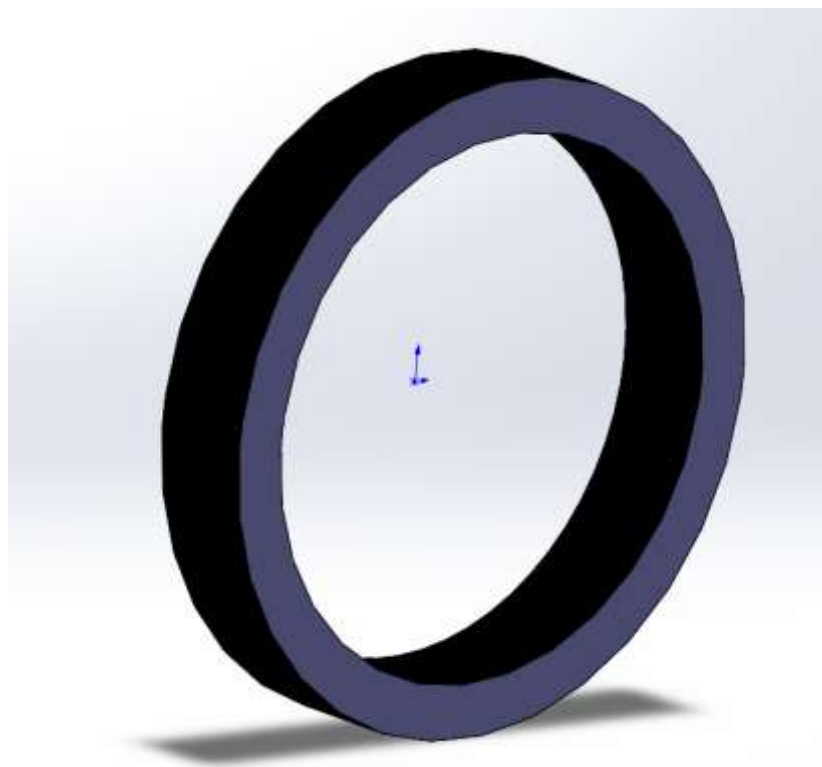


Рисунок 2.7 – Гумова-шина для мотор-колеса

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000ПЗ

Арк.

26

В якості додаткових коліс, що будуть розташовані ззаду вибираємо колеса діаметром 20 см, модель яких показана на рис.2.8, які мають гумову шину, що показана на рис.2.9.

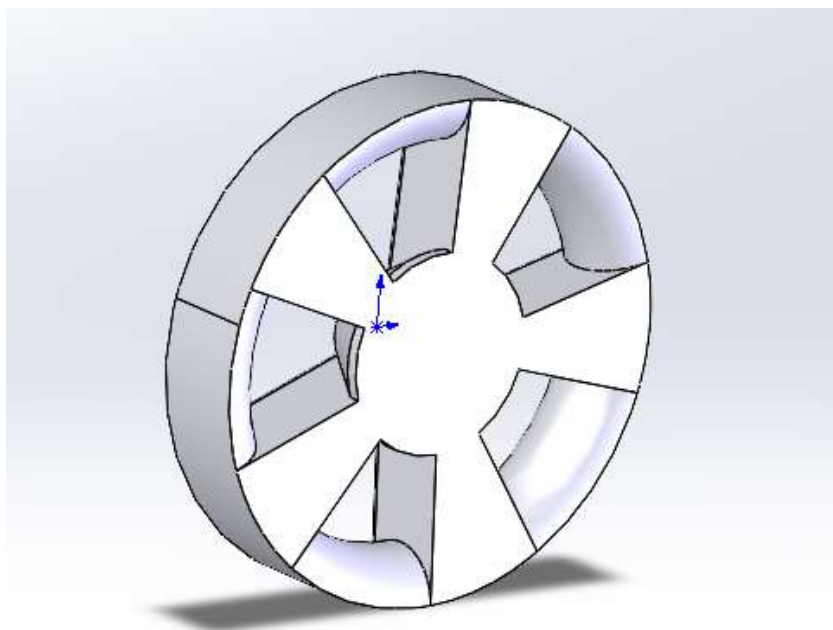


Рисунок 2.8 – Опорне заднє колесо

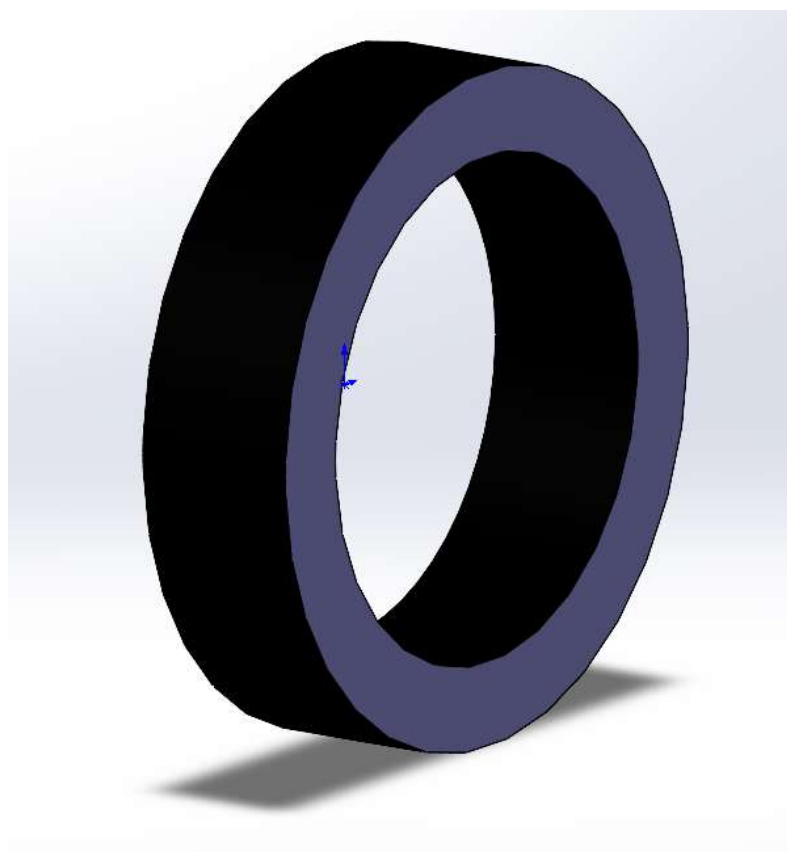


Рисунок 2.9 –Гумова шина опорного колеса

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Пара таких коліс забезпечить опорну функцію при переміщенні візка. Вони розташовані на консольних балках, що мають певну пружність і в подальшому можуть містити додаткові амортизуючі елементи.

Розробимо крісло для інвалідного візка. Воно має бути простим і не жорстким. Модель його показана на рис.2.10.

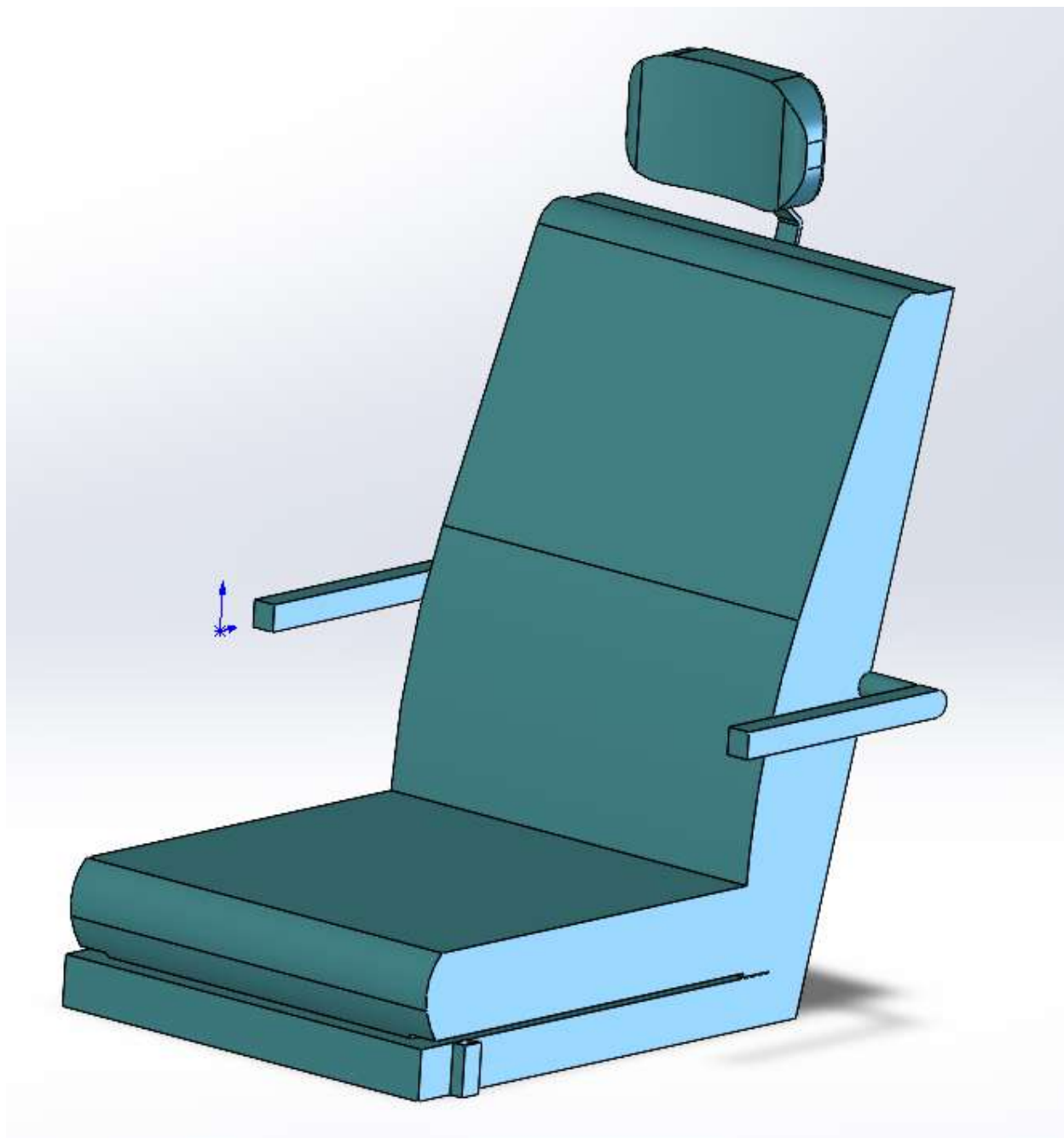


Рисунок 2.10 – Крісло для візка

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000ПЗ

Арк.

28

Крісло оснащене двома фіксаторами для підлокітників, модель якого показана на рис. 2.11. Він має можливість переміщуватись вздовж фіксаторів.

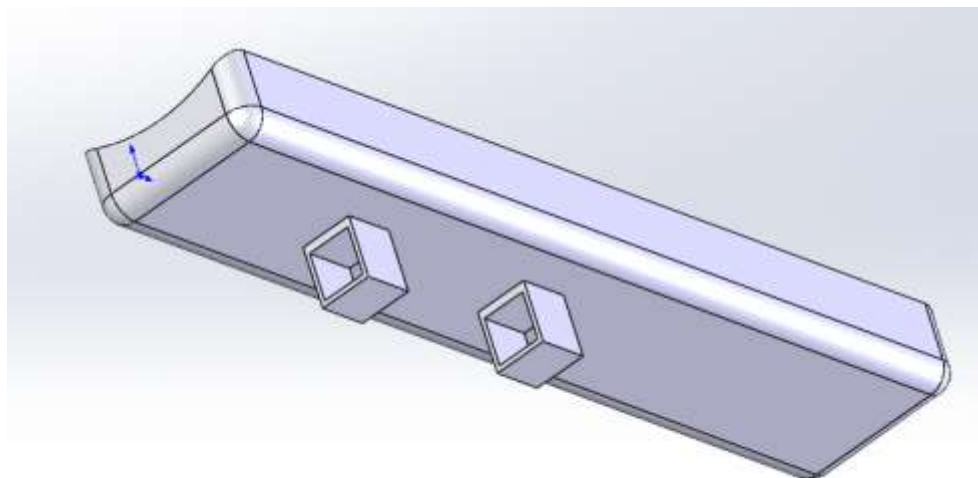


Рисунок 2.11 – Модель підлокітника

Саме крісло має бути встановлено в спеціальний блок з упорами, Це передбачає можливість встановлення додаткових опцій, пристрої та обладнання для крісла, як наприклад, електромасаж або система діалізу. Все залежить від складності виконання та бюджету. Модель показана на рис.2.12.

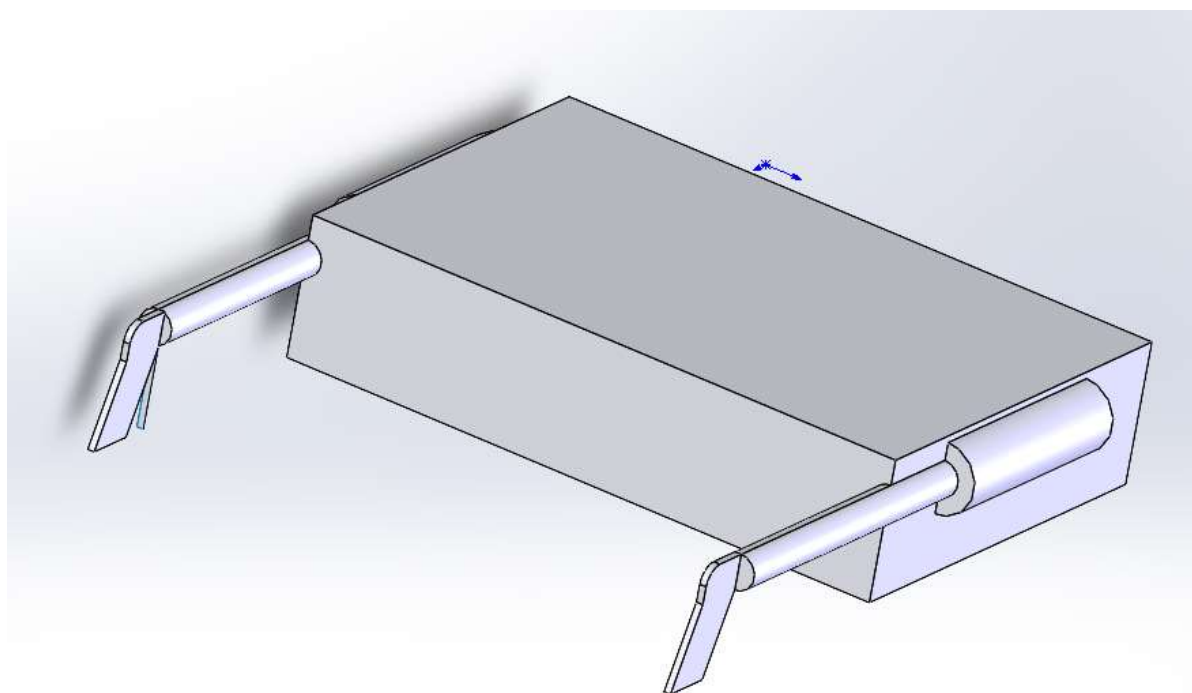


Рисунок 2.12 – Підкрісельний блок з упорами для крісла.

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Проведемо складання візка. Спочатку встановимо акумулятор, як показано на рис.2.13. Та встановимо перетворювачі. Рис 2.14.

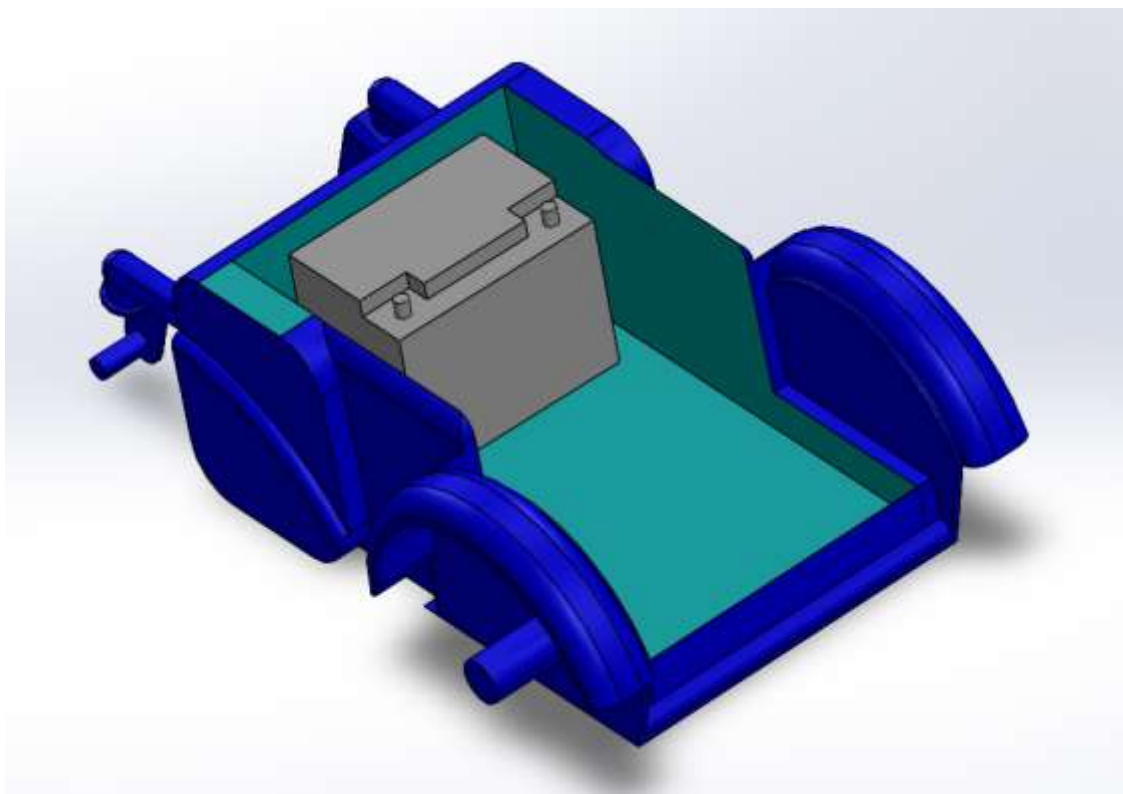


Рисунок 2.13 – Встановлення акумулятора

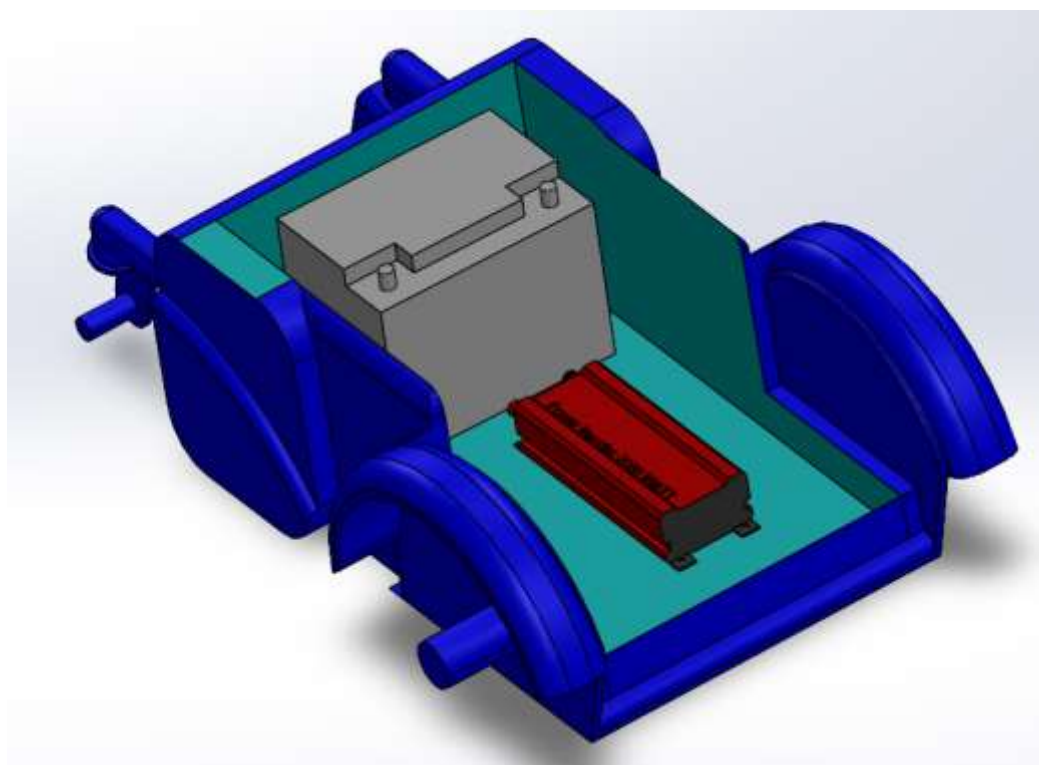


Рисунок 2.14 – Встановлення перетворювача

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Далі одягаємо колеса, рисунок 2.15. Мотор колеса йдуть попереду, а ззаду опорні колеса.

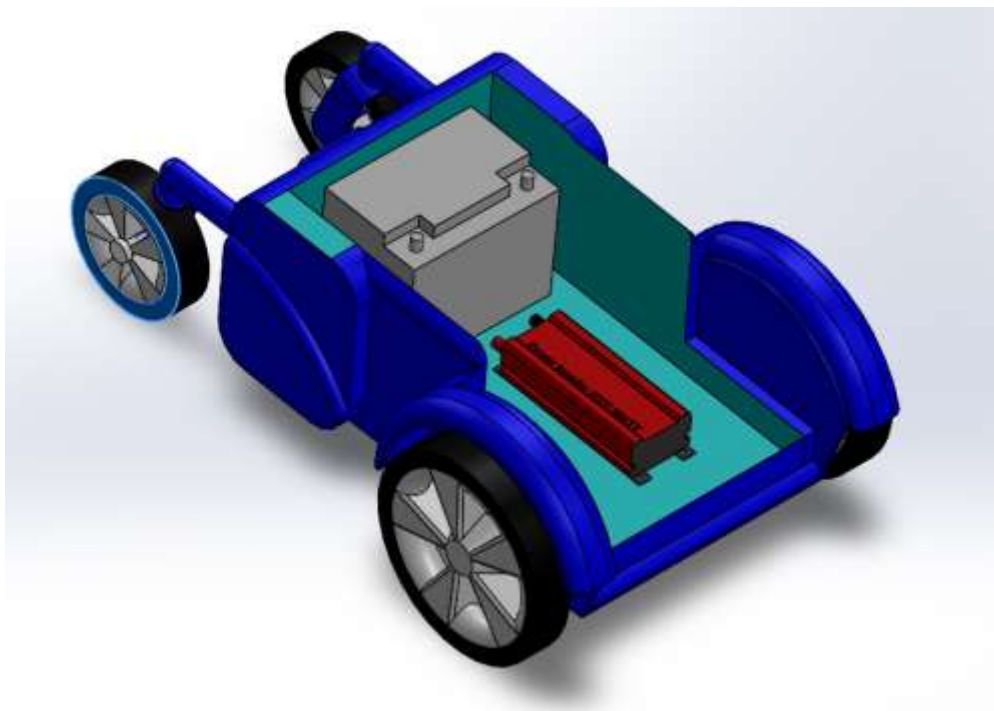


Рисунок 2.15 – Встановлення коліс на візок.

Враховуючі, що мотор-колеса два, то й перетворювачів треба 2. Після чого встановлюємо блок керування візком на основі плати Arduino (рис.2.16)

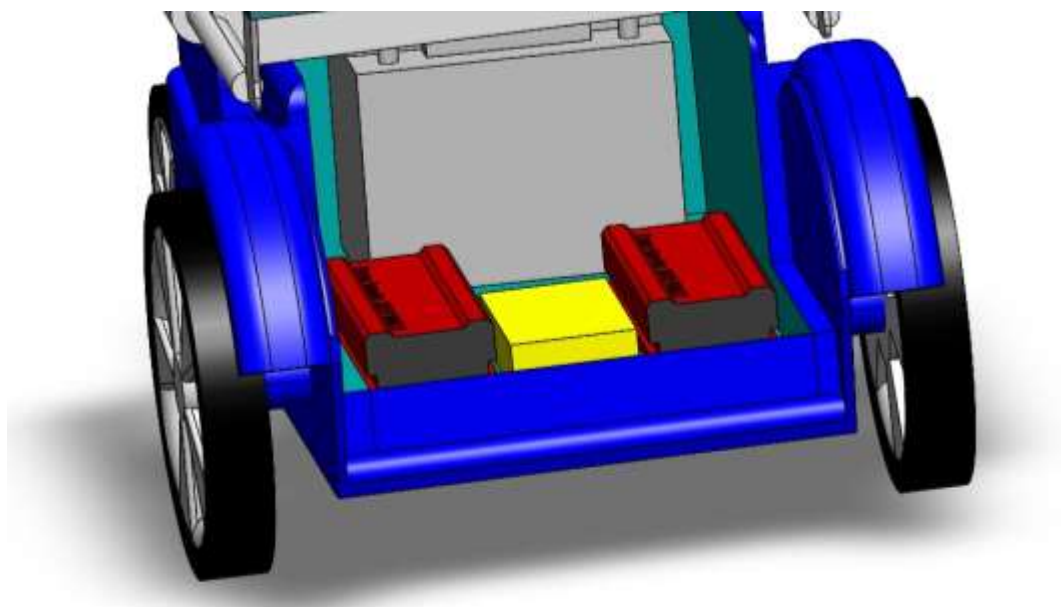


Рисунок 2.16 – Встановлені компоненти електроприводу

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Після чого встановлюємо підкрісельний блок з упорами, крісло та підлокітники. Також додаємо культ керування, яке може бути як справа так і зліва.. Загальне компонування показано на рис.2.17.

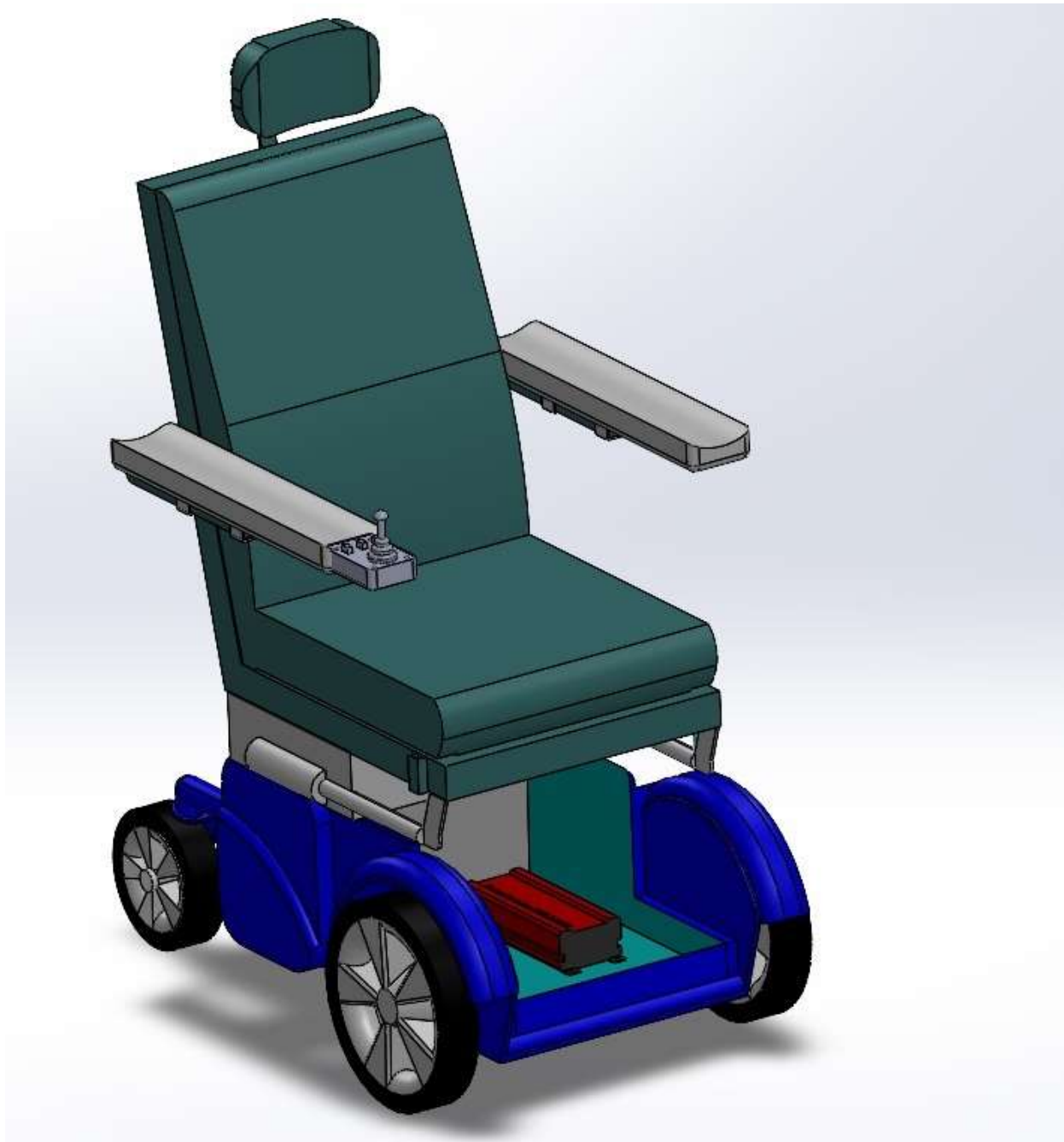


Рисунок 2.17- Встановлені компоненти електричного візка

Після встановлення підставки для ніг наш електричний інвалідний візок можна представити у такому вигляді як на рис.2.18.

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32



Рисунок 2.18 – Модель електричного інвалідного візка

Зальний вигляд показано на БРМА 24.00.00.000 ВЗ.

### 2.3 Розробка моделі електроприводу

За основу плати управління взято мікроконтролер Arduino Uno. Arduino Uno може житися від USB або зовнішнього джерела. Тип джерела вибирається автоматично. Як зовнішнє джерело живлення можна використовувати адаптер змінного / постійного струму або акумуляторну батарею (не USB). Штекер адаптера (Діаметр-2,1 мм, Центральний штифт позитивний) необхідно вставити в правильний роз'єм живлення на платі. Батарейний відсік/Джерело живлення від акумулятора, його дроти повинні

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

бути приєднані до клем Gnd і vin роз'єму. Напруга зовнішнього джерела живлення може знаходитися в діапазоні від 6 до 20 в.

Однак при зниженні напруги живлення нижче 7 В Напруга живлення падає і сам пристрій при вихідній напрузі 5В може мати нестабільну роботу.

Використання напруги вище 12 В може призвести до перегріву. Стабілізатора напруги і виходу з ладу плати. Враховуючи це, рекомендується використовувати джерело живлення з напругою в діапазоні 7-12 В.

Управління двигунами здійснюється за допомогою пінів Arduino Uno – 2,3,4, 8 і 9 (рис.2.19) Цифровий вихід 2 відповідає за напрямок обертання правого двигуна, 4 – за обертання лівого. Для установки значення використовується функція `digitalWrite()`, яка повертає вихідний сигнал на МАКСИМУМ (5 в, одиниця) - двигун обертається за годинниковою стрілкою, або на мінімум (0 в, нуль) - проти годинникової стрілки. 2 на виході використовується широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) для управління частотою обертання, тому частота обертання залежить від робочого циклу імпульсу.

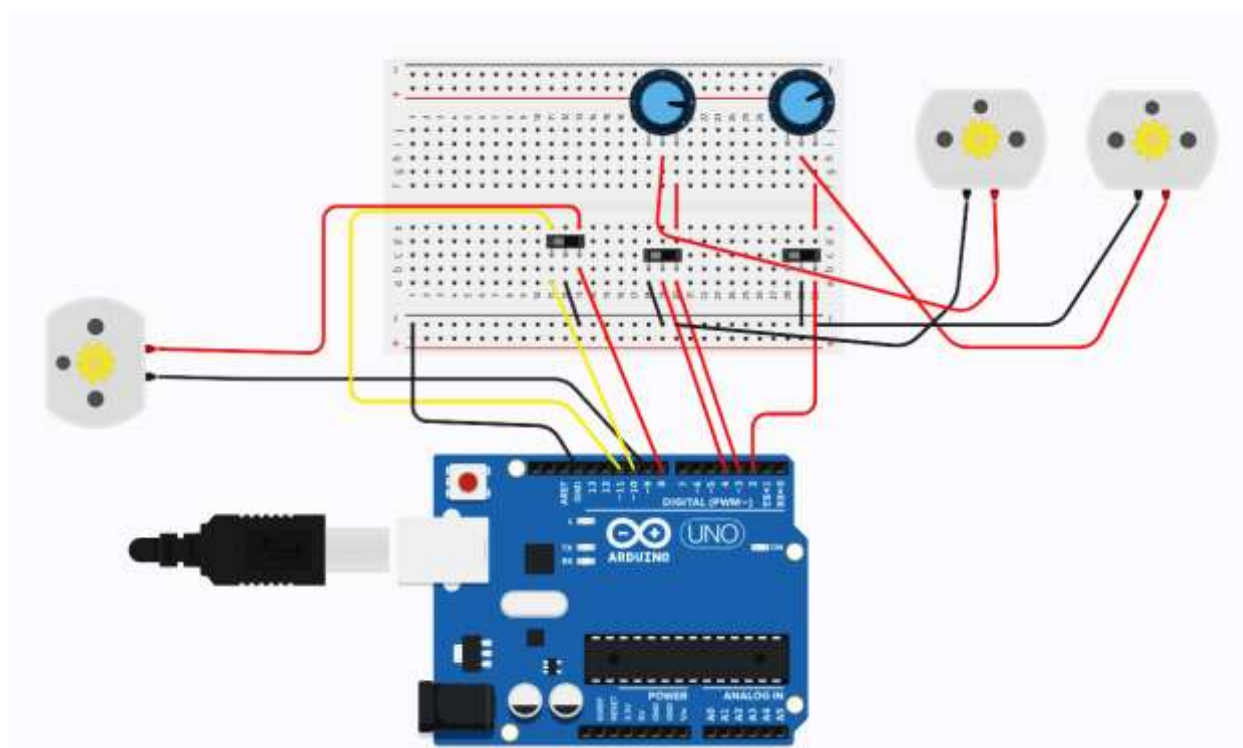


Рисунок 2.19 – Схема підключення Arduino Uno для керування двигунами.

									Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА24.00.00.000ПЗ				34

Використовуючи функцію `analogWrite ()` зі значеннями змінних від 0 до 255, ви можете змінити коефіцієнт заповнення від 0% до 100% відповідно. (Лістинг програми наведено у додатку А).

Швидкість обертання поточної осі визначається тоді, коли змінюється опір потенціометра. Два потенціометра як правило можуть бути об'єднані у джойстик. Симуляція їх роботи показана на рис.2.20-2.21.

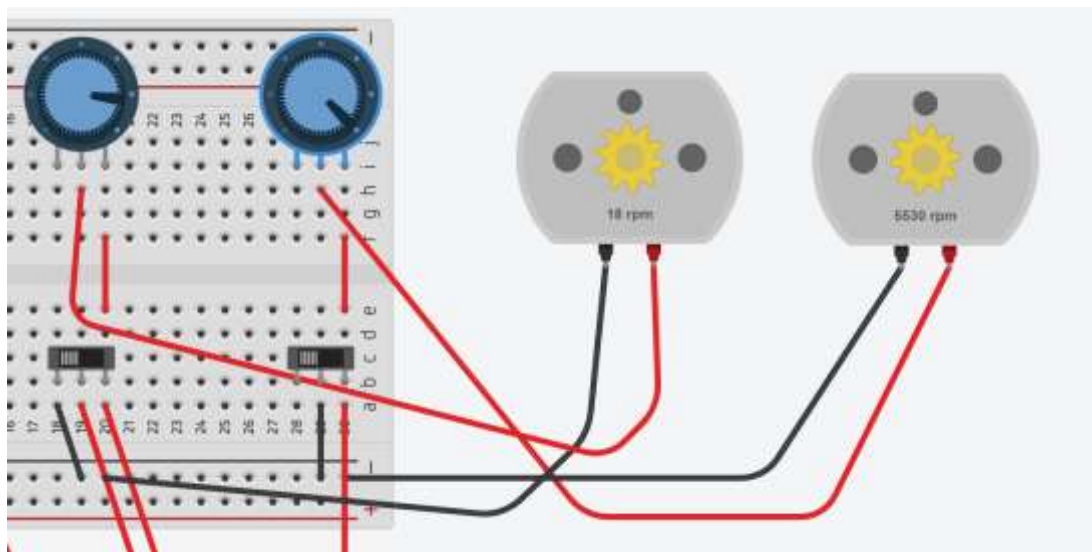


Рисунок 2.20 – Моделювання обертання правого колеса

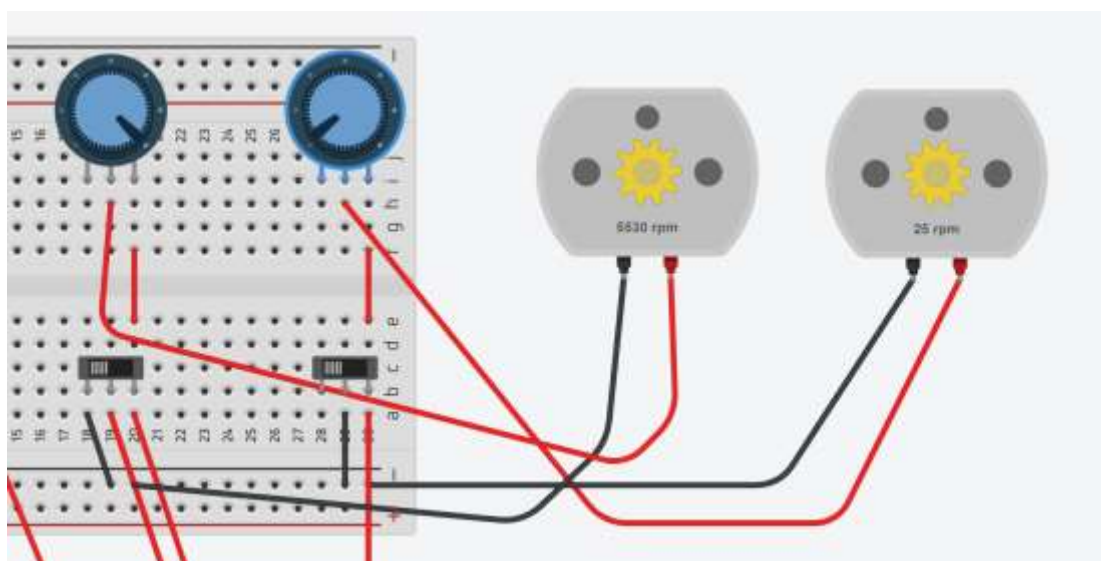


Рисунок 2.21 – Моделювання обертання лівого колеса

На платі є кнопки вимикання сигналу, роботу яких видно на рис. 2.22-2.23. Це дозволяє гальмувати колеса.

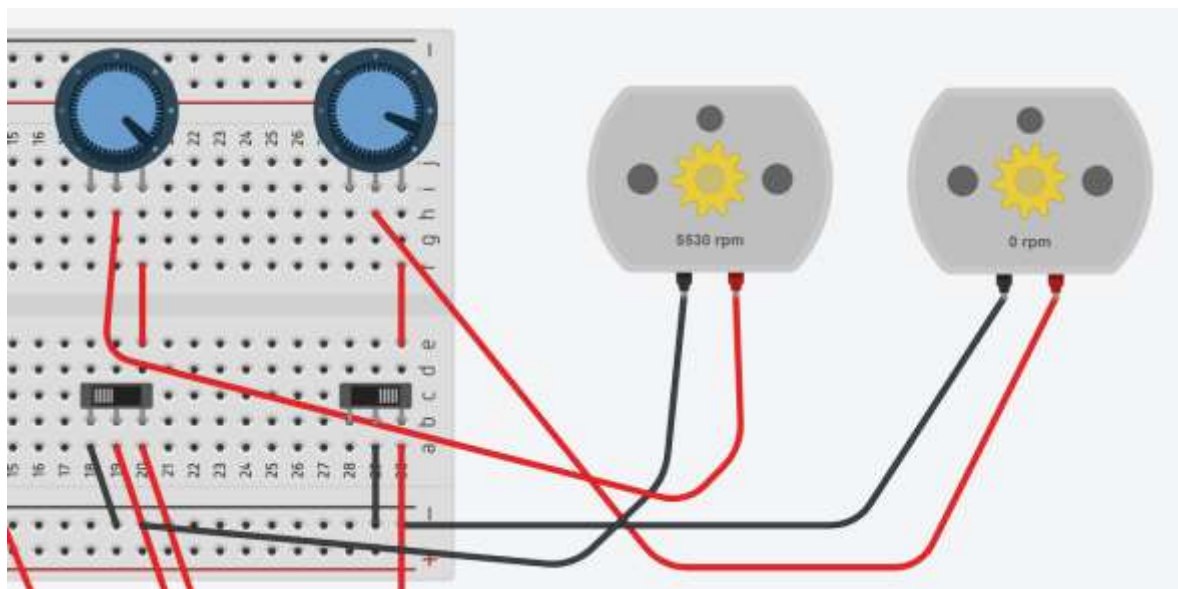


Рисунок 2.22 – Моделювання гальмування правого колеса

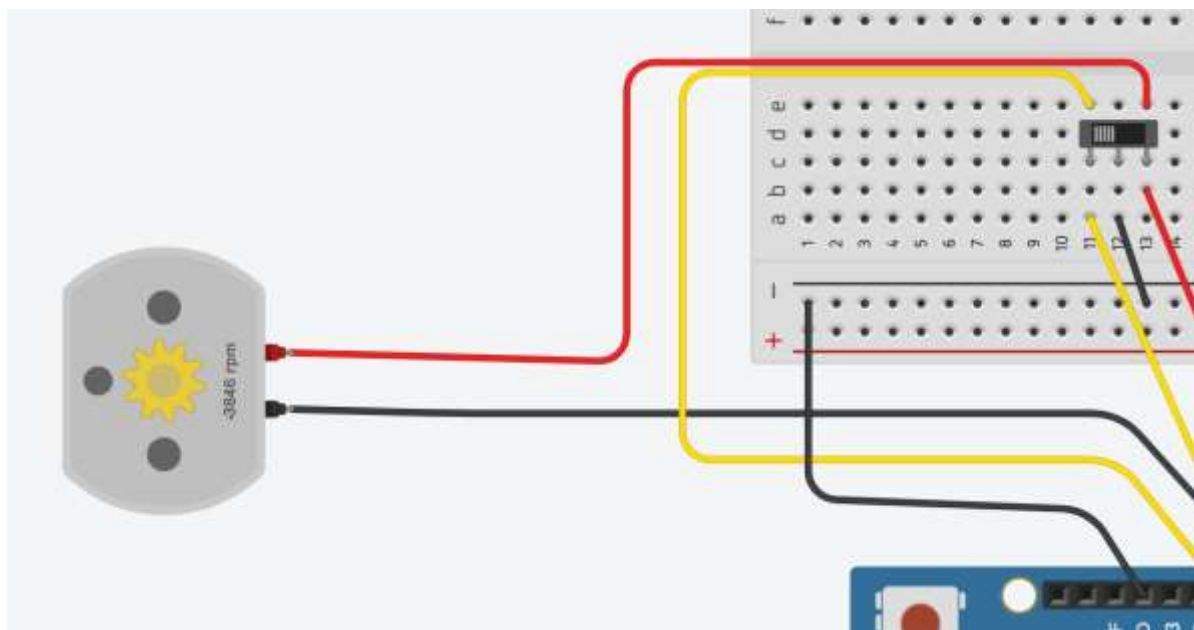


Рисунок 2.23 – Моделювання гальмування лівого колеса

Крім того передбачено підключення ще додаткового двигуна або іншого обладнання, що виконує прості функції, як наприклад, піднімання півставки для ніг або включення масажу (рис.2.24).

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



## 3 РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ІНВАЛІДНОГО ВІЗКА

### 3.1 Розрахунки приводу

Для аналізу було розроблено концепцію, що взята за основу у малих електромобілів, придатних для руху по шосе, на основі даних про розміри та характеристики численних пасажирських електромобілів, доступних на ринку [1-4]. Параметри та вимоги до візка, що визначені раніше, мають на меті представити середньостатистичні малий електропристрій. Крім того візок має бути розроблений для міського руху з помірними рівнями швидкості,

Система приводу складається з батареї, інвертора, електродвигуна і трансмісії, як показано на рис. 3.1. Початковий розрахунок, однак, враховує лише сили на валу колеса.

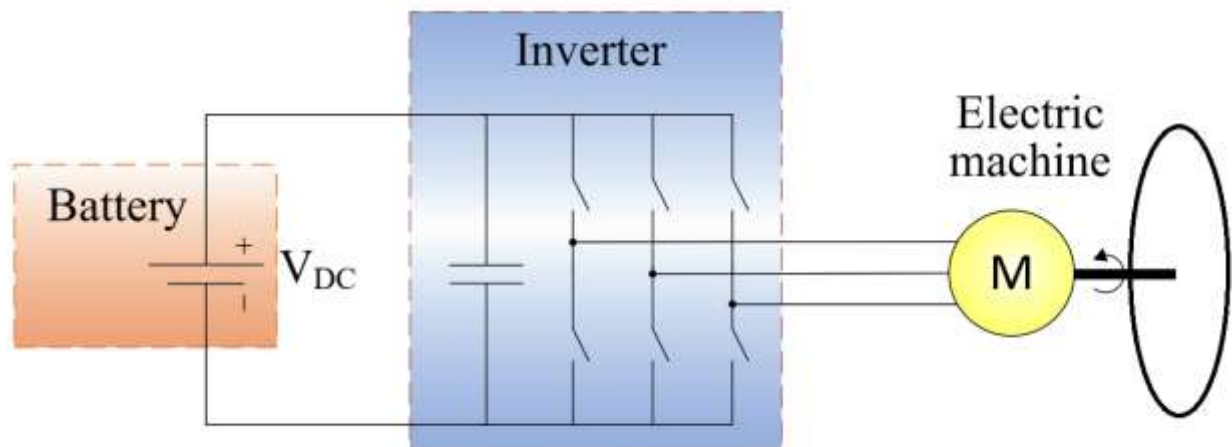


Рисунок 3.1 - Система приводу колеса візка

Як і в [2]-[4], сила, швидкість і потужність на колісному валу, які повинні надходити від приводної системи, щоб відповідати вимогам, визначаються за допомогою динамічних рівнянь електричного візка. Тоді миттєва сила на колесі  $F_{wheel}$  є сумою аеродинамічної сили, опору коченню, сили прискорення та сили дорожнього ухилу, що визначається як:

$$F_{wheel} = \frac{\rho}{2} C_d A v^2 + C_r m g \cos\alpha + m g \sin\alpha + m \frac{dv}{dt} \quad (3.1)$$

де  $\rho$  - густина повітря (1,2 кг/м<sup>3</sup>),  $v$  - (м/с) - поздовжня швидкість автомобіля,  $m$  (кг) - повна маса кочення,  $g$  - гравітаційна стала (9,81 м/с<sup>2</sup>) та  $\alpha$  (рад) - градієнт дороги [5].

Для спрощення розглядаються лише поздовжні рухи *sydfkslyjuj dsprf*. Крім того, під навантаженням на дорогу в цій роботі розуміється сила, що діє на колесо, яка складається з опору коченню та аеродинамічного опору. Крім того, миттєва потужність на колесі,  $P_{wheel}$ , є добутком сили на колесі та швидкості автомобіля ( $P_{wheel} = v F_{wheel}$ ).

Результати щодо стартової похилості та навантаження на дорогу на рівній та нерівній дорозі в залежності від швидкості представлені на рис. 3.2. Найбільші рівні потужності – 0,26 кВт досягаються під час руху на високій швидкості на дорозі з ухилом 6%. Початковий ухил дороги вимагає початкового зусилля на колесах 2937 Н та 4161 Н для малого та великого BEV відповідно.

Також особливо відзначені вимоги до максимальної швидкості та прохідності на високих швидкостях. Як показано в [4] з фіксованою максимальною швидкістю, вимога до часу розгону 0-10 км/год може бути виконана більш ніж одним значенням базової швидкості, коли максимальний крутний момент і потужність також можуть змінюватися. Це справедливо в припущенні ідеального електродвигуна з максимальним крутним моментом, який є постійним до базової швидкості, а потім зменшується зі збільшенням швидкості, оскільки в цьому випадку потужність є постійною для збільшення швидкості. Тут визначено три комбінації максимальної сили і потужності для кожного візка при співвідношенні базової і максимальної швидкості 1/4, 1/3 і 1/2. Аеродинамічний опір і опір коченню включені в розрахунки. Вибрані співвідношення базової та максимальної швидкостей відображають значення для електродвигунів у доступних електровізках [1].

						Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА24.00.00.000ПЗ	39

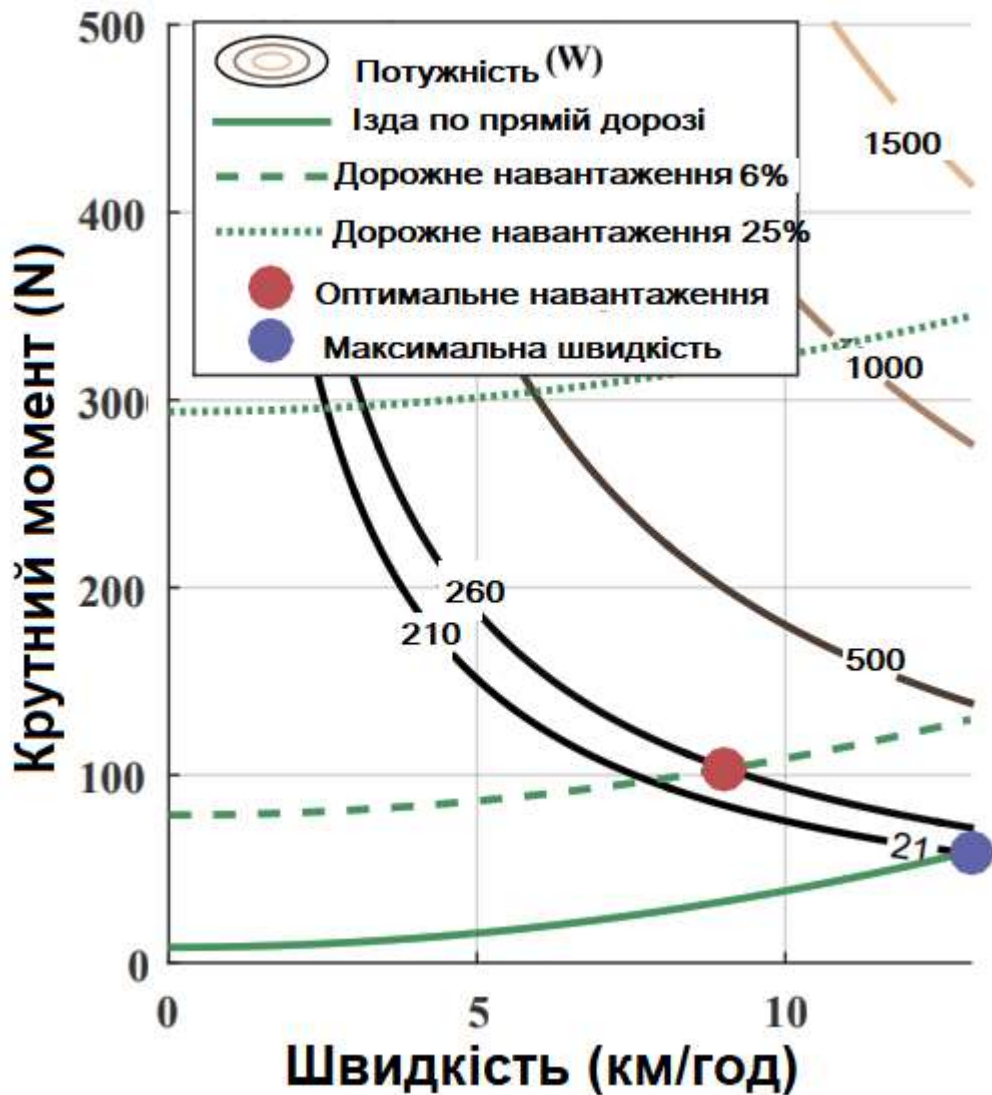


Рисунок 3.2 - Сила на колесах для рівних і нерівних дорожніх навантажень

Для того, щоб надати пріоритет низькошвидкісному прискоренню для візка, було обрано співвідношення базової та максимальної швидкості, що дорівнює 1/4. Це дає очікуваний час розгону 0-5 км/год 3,9 с і початкове максимальне зусилля на колесах 500 Н, а максимальна потужність 0,447 Вт.

Метою розрахунків є використання моделей компонентів приводної системи, які представляють типові характеристики для цього типу застосування. Отже, на основі висновків [1], [6], система приводу складається з синхронного двигуна з постійними магнітами (СДПМ), фіксованого передавального відношення, інвертора IGBT (біполярний транзистор з

ізолюваним затвором) та літій-іонного акумулятора. Методологія загальної процедури проектування компонентів електровізка, яка використовується тут, представлена на рис.3.3. Сила на колесі пов'язана з обертовим моментом електричної машини  $T_{EM}$  і швидкістю  $n_{EM}$  через радіус колеса  $r$ , передавальне число трансмісії  $k_{gear}$  і ККД трансмісії  $\eta_{gear}$ , в режимі руху як

$$T_{EM} = \frac{r F_{wheel,PT}}{\eta_{gear} k_{gear}} \quad (3.2)$$

$$n_{EM} = k_{gear} \frac{v}{r} \frac{60}{2\pi} = k_{gear} \omega_{wheel} \frac{60}{2\pi},$$

де швидкість обертання колеса  $\omega_{wheel}$  (рад/с) - відношення швидкості транспортного засобу до радіуса колеса [5].

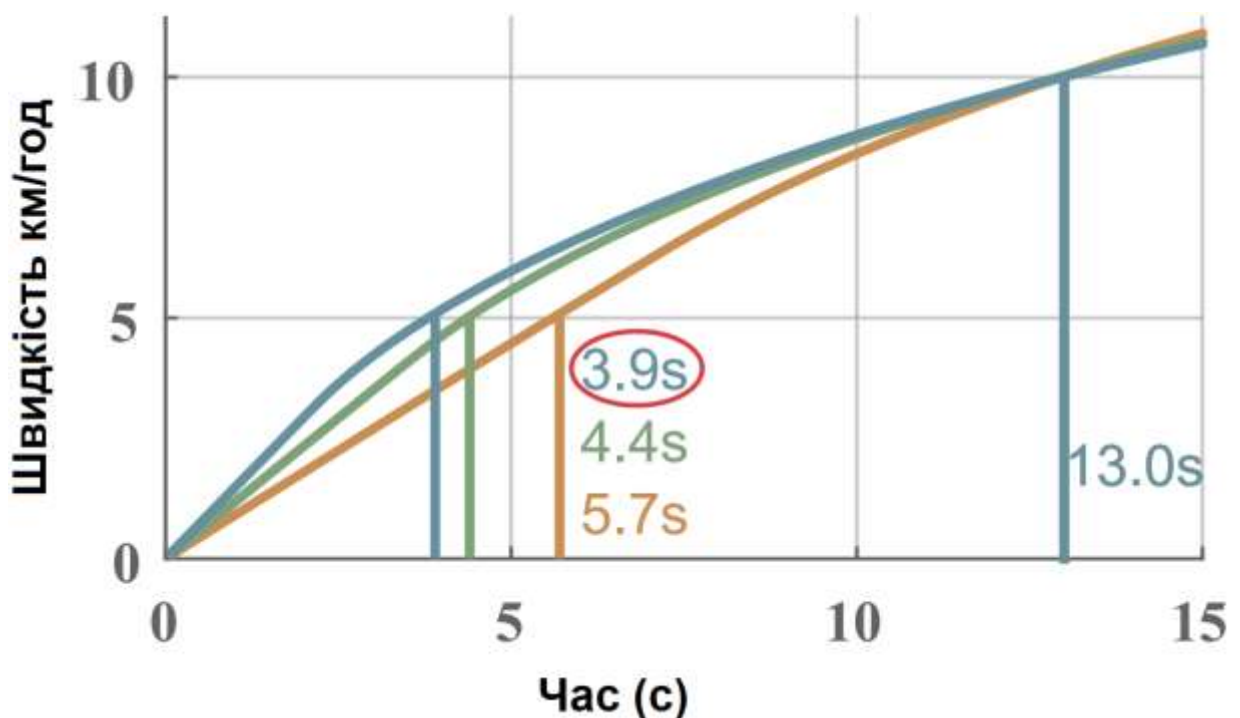


Рисунок 3.3 - Швидкість у часі, а також сила колеса від швидкості для базових швидкостей, які становлять 1/4, 1/3 і 1/2 максимальної швидкості

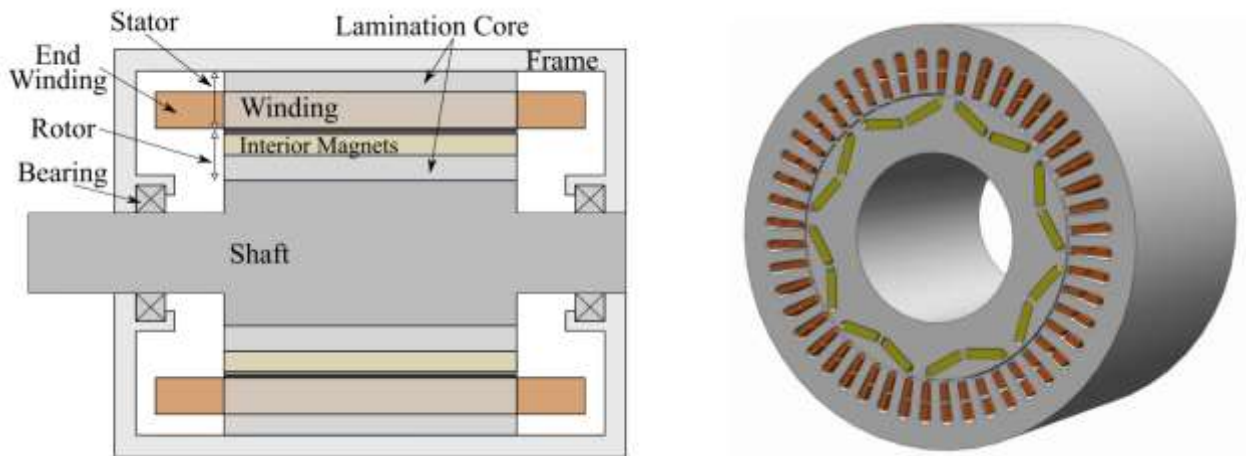


Рисунок 3.4 - Осьовий переріз конфігурації машини та активні частини машини v-подібних еталонних двигунів

Геометрія опорних машин реалізована та змодельована в програмному забезпеченні FEA (аналіз методом скінченних елементів). Геометрія та щільність сітки показана на рис. 6. Обраний матеріал ламінування - NO30 товщиною 0,3 мм від Tata Cogent [8], з масовою густиною 7540 кг/м<sup>3</sup>. Обидві складові втрат в осерді (гістерезис і вихрові) розраховано як середні значення за другий електричний період. Було обрано магніт з відносно низьким вмістом диспрозю (близько 3.5-4.5 w% Dy)[9]. Передбачається, що магніт має робочу температуру 70°C. Тоді залишковий потік становить приблизно 1,18 Тл, відносна проникність 1,04, коерцитивність -902 285 А/м, електропровідність 750 469 См/м і густина 7500 кг/м<sup>3</sup> [10].

У програмному забезпеченні МСЕ магніти моделюються як котушки з нульовим струмом з урахуванням вихрових ефектів. Мідні провідники мають густину 8933 кг/м<sup>3</sup> [11] і питомий опір  $1,68 \cdot 10^{-8}$  Ом при 20°C, з температурним коефіцієнтом 0,3862 %/К. Вважається, що обмотки мають робочу температуру 100°C, що вважається реалістичним при використанні відносно теплого теплоносія (65°C).

										Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА24.00.00.000ПЗ					42

### 3.2 Розрахунок електричної машини

Геометрію машини можна масштабувати як за діаметром, так і за довжиною осердя. Потім, в ітераційному процесі, знаходять відповідний розмір машини, при якому задана максимальна середньоквадратична густина струму  $J_{max}$  у  $20 \text{ А/мм}^2$  дає бажаний піковий крутний момент. Одночасно встановлюється відношення довжини до діаметра ( $L/D_{ratio}$ )  $0,8$ , а кількість витків на котушці регулюється таким чином, щоб послаблення поля починалося приблизно при  $3000 \text{ об/хв}$  для візка, тобто при базовій частоті обертання  $\omega_{баз}$  при номінальній напрузі постійного струму  $36 \text{ В}$ . Ці значення відповідають поточним специфікаціям БЕВ [1]. Для порівняння, було знайдено лише декілька прикладів  $L/D$ -співвідношення більше одиниці для автомобільних тягових двигунів, тому вони здаються досить рідкісними [12]-[14].

Результуючий максимальний середньоквадратичний фазний струм пропорційний: максимальній середньоквадратичній густині струму; коефіцієнту заповнення паза  $k_{ff}$ ; площі паза  $A_{slot}$ ; та кількості паралельних гілок  $n_{npb}$ , і обернено пропорційний кількості шарів  $n_{layer}$  та витків на котушку  $n_{tps}$ , як у [10]

$$I_{ph,rms,max} = \frac{J_{max} k_{ff} A_{slot} n_{npb}}{n_{layer} n_{tps}}, \quad (3.3)$$

Оскільки  $n_{tps}$  потрібно регулювати, щоб зберегти номінальну напругу під час масштабування довжини двигуна,  $I_{ph,rms,max}$  також повинні змінюватися. Відображення індуктивностей та зв'язку магнітного потоку для еталонного двигуна представлено на рис. 3.5.

									Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА24.00.00.000ПЗ				43



незначними. Для IGBT-транзисторів розглядаються втрати у стані увімкнення, вмикання та вимикання, тоді як втрати на зворотне блокування вважаються незначними. Для діодів враховуються втрати при увімкненні та вимкненні (зворотне відновлення), але втратами при увімкненні нехтуємо через припущення про швидкий процес увімкнення діода. Тоді середні втрати увімкненого стану в IGBT і діодах в одному перемикачі можна оцінити як

$$P_{cond} = \left( \frac{1}{2\pi} \pm \frac{m_a \cos \varphi}{8} \right) V_{th} \hat{I}_s + \left( \frac{1}{8} \pm \frac{m_a \cos \varphi}{3\pi} \right) R_{on} \hat{I}_s^2 \quad (3.4)$$

де знаки "плюс" відносяться до IGBT, а знаки "мінус" - до діодів. Середні втрати на увімкнення і вимкнення (за період перемикання) можна оцінити як:

$$P_{sw} = f_{sw} \cdot E_{(on+off)} \cdot \left( \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\hat{I}_s}{I_{ref}} \right)^{K_i} \cdot \left( \frac{V_{DC}}{V_{ref}} \right)^{K_v} \quad (3.4)$$

де  $V_{th}$  - порогова напруга, залежна від температури

$R_{on}$  - пороговий опір, залежний від температури;

$E_{on+off}$  - енергія, що розсіюється при вмиканні та вимиканні;

$I_{ref}$  - опорний струм, з яким корелює  $E_{on+off}$  ;

$V_{ref}$  - опорна напруга постійного струму, з яким корелює  $E_{on+off}$

(36В);

$K_i$  - залежність втрат при перемиканні від струму, (IGBT: 1, Діод: 0.6);

$K_v$  - залежність втрат при перемиканні від напруги, (IGBT: 1.35, Діод:

0.6, а інші залежать від точки навантаження)

$m_a$  - Індекс ШІМ модуляції (з ЕМ-карти);

$\varphi$  - Кут зсуву фаз між напругою і струмом (з ЕМ-карти);

$I$  - Амплітуда змінного фазного струму;

$f_{sw}$  - Частота комутації (10 кГц);

									Арк.	
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА24.00.00.000ПЗ					45

$V_{DC}$  - рівень постійної напруги (36В).

Завдяки симетрії в роботі, достатньо змоделювати втрати в одному ключі, і приписати однакові втрати потужності в інших шести ключах, щоб знайти сумарні втрати перетворювача. Для того, щоб зробити модель втрат інвертора масштабованою, залежність питомих параметрів компонентів від струму і температури була апроксимована (на основі досліджених комерційних силових модулів) і представлена в таблиці 3.2. Як і слід було очікувати,  $V_{th}$  мало залежить від номінального струму колектора  $I_{cn}$ , оскільки номінальна напруга однакова для всіх модулів, тоді як вона зменшується зі збільшенням температури. Як  $R_{on}$ , так і  $R_{th}$  показують сильну залежність від струму і обернено пропорційні  $I_{cn}$ . Підвищення температури мікросхеми призводить до збільшення  $R_{on}$ .

Температурна залежність  $R_{th}$  не була вказана в технічних характеристиках, але для трьох модулів з найвищим рейтингом була представлена його залежність від швидкості потоку теплоносія. Апроксимація теплового опору, що використовується, базується на приєднанні до теплоносія зі швидкістю 6 л/хв для модулів FS400 H5/600/800, а також на приєднанні до радіатора для модулів FS50/75/200/400.

Крім того, замість того, щоб використовувати фіксовані значення  $E_{on,off}$  і лінійно масштабувати їх за номінальним струмом колектора, як у [8], ці втрати тут представлені як функції струму колектора, як показано в технічному паспорті для модуля з найвищою номінальною потужністю. Тоді втрати на комутацію замість цього розраховуються як:

$$P_{sw,mod} = f_{sw} \cdot E_{(on,off)}(\hat{I}_s) \cdot \left(\frac{1}{\pi}\right)^{K_i} \cdot \left(\frac{V_{DC}}{V_{ref}}\right)^{K_v} \quad (3.5)$$

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46



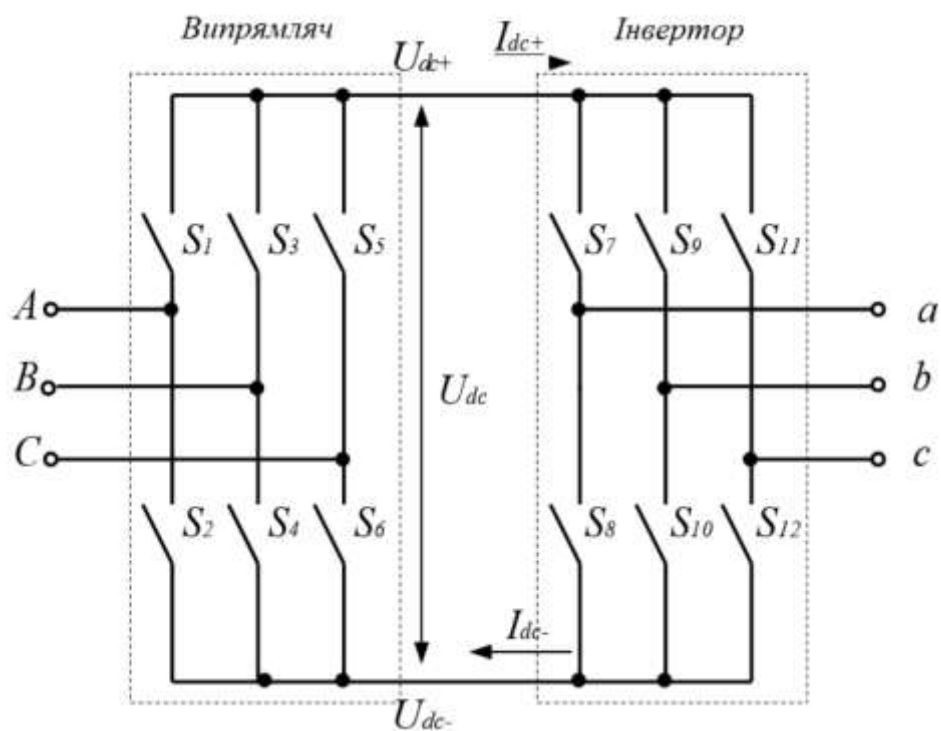


Рисунок 3.7 - Схема комутації для блоку живлення перетворювача [10]

Напрямок руху струму на рисунку позначено стрілками, а також вказано значення напруги на проміжній мережі постійного струму Вхідний струм і напруга можуть бути записані у векторному форматі [10, 16]:

$$I_i(t) = \begin{bmatrix} i_A(t) \\ i_B(t) \\ i_C(t) \end{bmatrix},$$

$$U_i(t) = \begin{bmatrix} u_A(t) \\ u_B(t) \\ u_C(t) \end{bmatrix},$$
(3.6)

де  $I_i(t)$  – вектор струмів на вході,  $U_i(t)$  – вектор напруги на вході. Аналогічно можна записати вектор струму на виході  $I_o(t)$  та вектор напруги на навантаженні  $U_o(t)$  [10].

$$I_0(t) = \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \end{bmatrix}, \quad (3.7)$$

$$U_0(t) = \begin{bmatrix} u_a(t) \\ u_b(t) \\ u_c(t) \end{bmatrix},$$

Комутаційна матриця  $S(T)$  може бути визначена з урахуванням заданої вхідної напруги і бажаної форми вихідної напруги. На рис.3.8 показана випрямна частина комутаційної схеми.

Випрямляючою частиною схеми заміни матричного перетворювача частоти в схемі заміни випрямляча UDC і IDC є напруга і струм. В умовній ланці постійного струму відповідно... $S_6$ -ключ випрямляча [10].

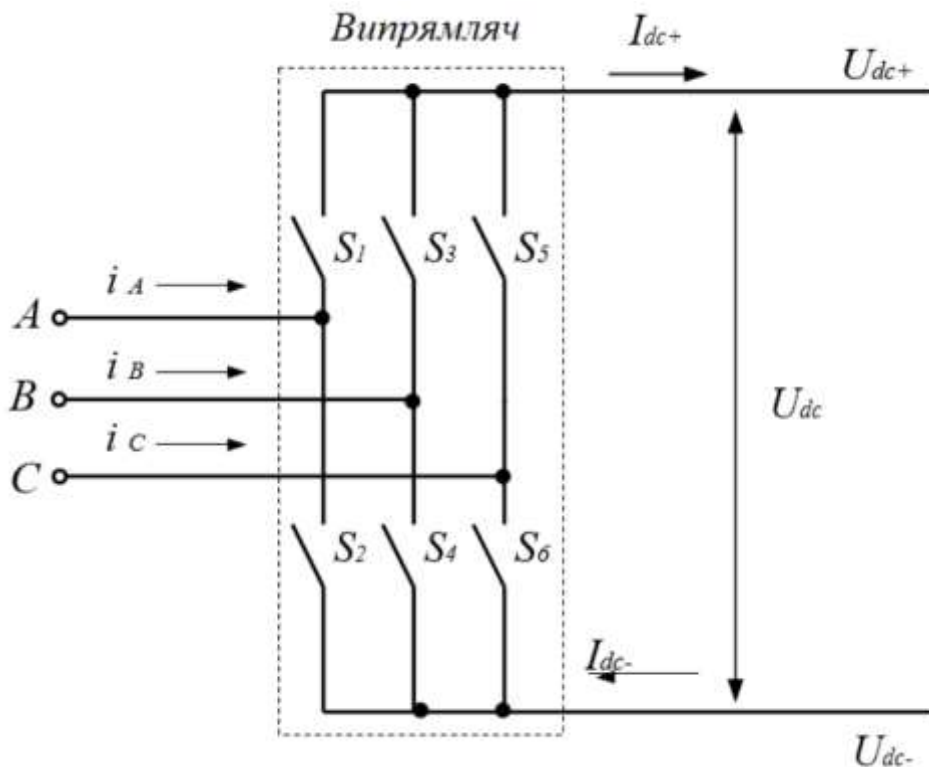


Рисунок 3.8 – Випрямляюча частина комутаційної схеми [10]

Залежність вхідних і вихідних параметрів схеми заміни може бути записана у вигляді [10]:

$$I_i(t) = S_B(t) \begin{bmatrix} I_{DC+} \\ I_{DC-} \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} I_{DC+} \\ I_{DC-} \end{bmatrix} = S_B^T(t) U_i(t)$$
(3.8)

Матриця перемикання випрямляча, що містить функції перемикання ключів випрямляча  $S_1 \dots S_6$  представлена так:.

$$S_B(t) = \begin{bmatrix} S_1 S_2 \\ S_3 S_4 \\ S_5 S_6 \end{bmatrix},$$
(3.9)

Значення функції перемикання за різних станів ключа  $i = 1, 6$  зображено на рисунку 3.7.

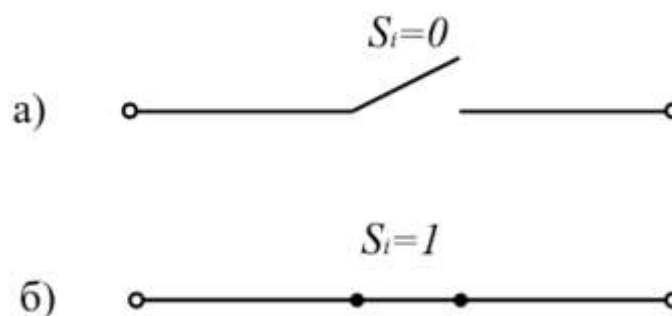


Рисунок 3.9 – Значення функції перемикання при різних умовах: а) Ключ відкритий, б) ключ закритий [10]

На рисунку 3.10 показана інверторна частина схеми перемикання.

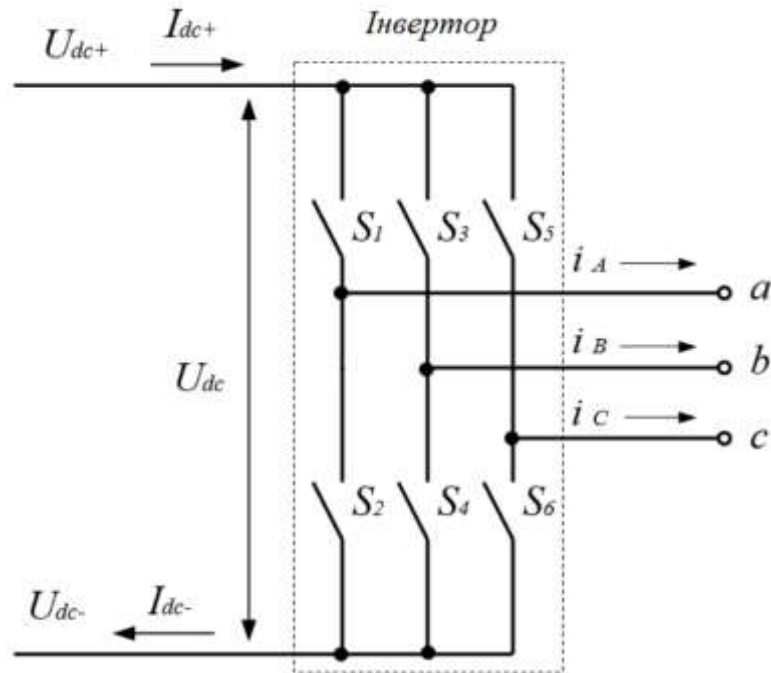


Рисунок 3.10 – Інверторна частина схеми перемикання матричного перетворювача частоти [10]

В схемі перемикання інвертора  $U_{DC}$  і  $I_{DC}$  являють собою напругу умовної ланки постійного струму і струм відповідно.  $S_7...S_{12}$  - клавіша інвертора. Випрямляч і інвертор виконують протилежні функції, тому залежність між параметрами на вході і виході зворотна [10, 22].

$$U_0(t) = S_I(t) \begin{bmatrix} U_{DC+} \\ U_{DC-} \end{bmatrix}, \quad (3.10)$$

$$\begin{bmatrix} I_{DC+} \\ I_{DC-} \end{bmatrix} = S_I^T(t) I_0(t)$$

$$S_I(t) = \begin{bmatrix} S_7 S_8 \\ S_9 S_{10} \\ S_{11} S_{12} \end{bmatrix}, \quad (3.11)$$

Комутаційна матриця інвертора, що включає можливість перемикання ключа випрямляча  $S_7 \dots S_{12}$ . Якщо замінити вираз (3.8) на (3.9), а вираз (3.10) на (3.7), то можна записати [10]:

$$\begin{aligned} U_0(t) &= S_I(t)S_B^T(t)U_I(t), \\ I_i(t) &= S_I^T(t)S_B(t)I_0(t) \end{aligned} \quad (3.12)$$

Вирази (3.11) та (3.12) так само можна записати у вигляді [10]:

$$\begin{aligned} U_0(t) &= S(t)U_I(t), \\ I_i(t) &= S^T(t)I_0(t) \end{aligned} \quad (3.13)$$

де  $S_I^T$ ,  $S_B^T$  - є необхідним матрицями перемикання.

Рівняння (3.12) та (3.13) є основними і показують взаємозв'язок між вхідними та вихідними значеннями схеми заміни ПЧ. Необхідна матриця перемикання може бути записана у вигляді [10]:

$$S(t) = \begin{bmatrix} S_7 S_8 \\ S_9 S_{10} \\ S_{11} S_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_1 S_3 S_5 \\ S_2 S_4 S_6 \end{bmatrix}, \quad (3.14)$$

Позначимо фази входу  $K \in \{A, B, C\}$ , а фази виходу  $J \in \{a, b, c\}$ . Після перетворення правої частини (3.14) ми отримуємо матрицю перемикання схеми ПЧ;



окремих ключів в схемі заміни. На рис. 3.9 показана схема заміни для 1 фази вихідного сигналу МПЧ.

Наприклад, для вихідної фази а, згідно (3.14) отримуємо [10]:

$$\begin{aligned} S_{Aa} &= S_7 \cdot S_1 + S_8 \cdot S_2, \\ S_{Ba} &= S_7 \cdot S_3 + S_8 \cdot S_4, \\ S_{Ca} &= S_7 \cdot S_5 + S_8 \cdot S_6, \end{aligned} \quad (3.16)$$

де  $S_{Aa}$ ,  $S_{Ba}$ ,  $S_{Ca}$  – функції перемикання ключів МПЧ. Враховуючи (3.13), (3.14) та (3.15), відношення між величинами на вході та виході МПЧ можна виразити в такому вигляді [10]:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} u_a(t) \\ u_b(t) \\ u_c(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} S_{Aa}(t)S_{Ba}(t)S_{Ca}(t) \\ S_{Ab}(t)S_{Bb}(t)S_{Cb}(t) \\ S_{Ac}(t)S_{Bc}(t)S_{Cc}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_A(t) \\ u_B(t) \\ u_C(t) \end{bmatrix}, \\ \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} S_{Aa}(t)S_{Ab}(t)S_{Ac}(t) \\ S_{Ba}(t)S_{Bb}(t)S_{Bc}(t) \\ S_{Ca}(t)S_{Cb}(t)S_{Cc}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A(t) \\ i_B(t) \\ i_C(t) \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (3.17)$$

Враховуючи, що МРЧ живиться від синусоїдальної напруги і в принципі має резистивно-індуктивне навантаження на виході [15, 21], можна стверджувати, що в будь-який момент часу може бути відкритий лише 1 ключ для кожної фази виходу і повинен бути відкритий щонайменше 1 ключ для кожної вхідної фази. закрито [15]. Ця умова може бути виражено наступним чином:

$$\sum_{K=A,B,C} S_{Ka}(t) = \sum_{K=A,B,C} S_{Kb}(t) = \sum_{K=A,B,C} S_{Kc}(t) = 1, \quad (3.18)$$

									Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА24.00.00.000ПЗ				54

Відповідно до припущення, що силові вимикачі є ідеальними і передбачається їх миттєве перемикання, ПЧ відповідає рівнянню (3.16). Аналіз основних методів перемикання перемикання струму в ПЧ є більш складним у порівнянні зі звичайним перетворювачем напруги, оскільки ПЧ не має природного шляху вільного протікання струму [14]. Використовуючи схему двофазного однофазного перетворювача, показану на рис. 3.12, корисно розглянути основні методи комутації ПЧ. Схема складається з 2 фаз на вході і 1 фази на виході ПЧ [10].

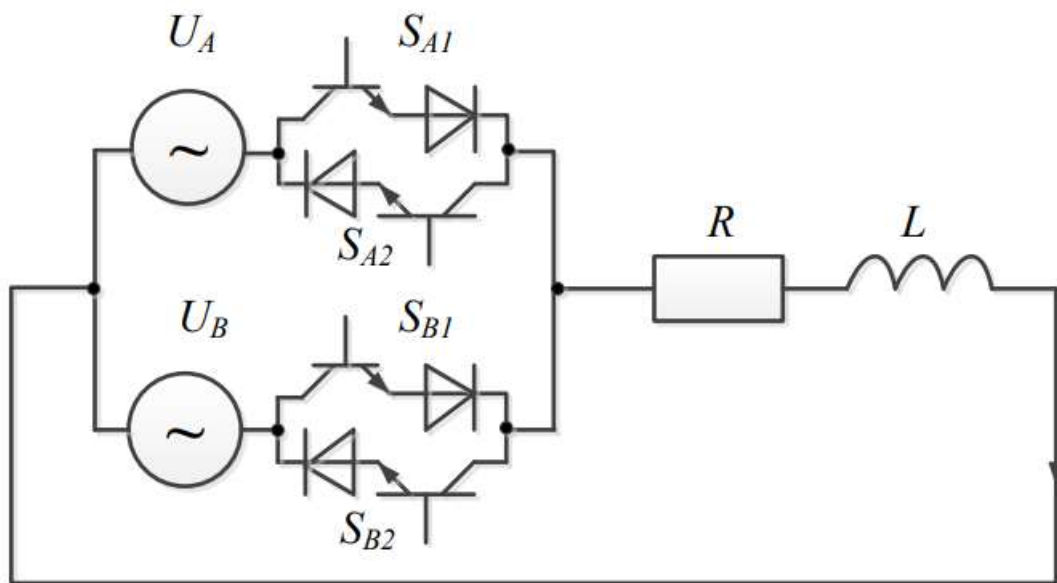


Рисунок 3.12 – Схема двофазного однофазного перетворювача

В перетворювачах частоти основними елементами перемикаючого ключа кожного типу є транзистор VT і діод VD. Вони відрізняються тільки способом побудови. Для ключів на 1 транзисторі 4 діода VD1... Використовуються VD4 і один транзистор VT1. Одним з основних недоліків такої схеми є неможливість контролювати напрямок протікання струму через ключ. Перевага цього ключа полягає в тому, що вам потрібен лише 1 активний елемент [10, 18, 23]. Перемикач, побудований на двох загальних транзисторах, має ту перевагу, що він може керувати напрямком струму через ключ. Таким чином, втрати також зменшуються, оскільки в кожному напрямку струм проходить лише через 2 елементи. Для аналогічних ключів із Загальними

									Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА24.00.00.000ПЗ				55

точками на емітері потрібно незалежний ізольований джерело живлення схеми управління, а для ключів із Загальними точками на колекторі таке джерело встановити неможливо. Аналогічні схеми також можуть бути використані без будь-яких спільних рис, але в цьому випадку використання незалежного ізольованого Джерела живлення також неможливо. Перемикач, побудований на двох транзисторах зворотної схеми, має здатність напівпровідникових елементів, використовуваних в двонаправлених ключових схемах, замикатися при зворотному напрузі, подібно транзисторів RB-IGBT. Ця топологія дуже компактна і вимагає лише 6 ізольованих джерел живлення для схеми управління [10]. Комбінований алгоритм для безпечного перемикання ключів полягає в забезпеченні того, щоб робота ПЧ перебувала виключно в критичній зоні. Цей алгоритм поєднує раніше розроблену чотирьохпозиційну схему перемикання з контролем напрямку вихідного струму та вхідної напруги [5]. Розглянемо особливості алгоритму сполучення для безпечного перемикання ключів на рис. 3.13. На ньому показаний графік фазної напруги  $u_i(t)$  на вході і струму  $i_o(t)$  на виході МПЧ.

З рисунку 3.13 ми бачимо, що метод перемикання ключа по струму KS змінюється на метод перемикання ключа по напрузі  $k_p$  в той момент, коли напрямок струму на фазному виході може бути невірно визначено. При зниженні до певного мінімального рівня  $i_o$  поблизу точки, що проходить через нуль. Зворотна Заміна методу KN на CS відбувається в 2 випадках: при виході з критичної зони CS або в момент входу в критичну зону  $k_p$ , що визначається значенням  $U_i$ . На малюнку 3 ці зони позначені чорним колом (критична зона для напруги KN) і сірим прямокутником (критична зона для струму CS) [10].

Таким чином, умови для динамічних змін в способі перемикання задаються струмом  $i_o$  і напругою, а також розміром зони низької чутливості в  $u_i$ . Даний алгоритм дозволяє значно скоротити кількість помилкових перемикань у всьому частотному діапазоні вихідної напруги [10].

						Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА24.00.00.000ПЗ	56

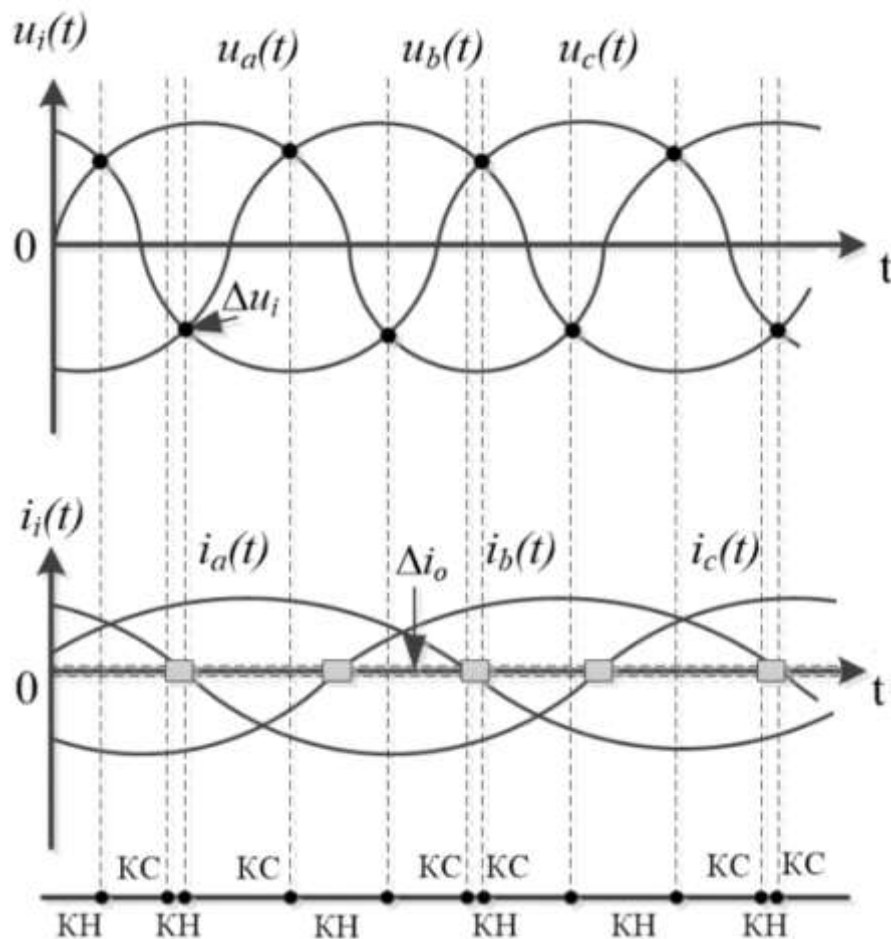


Рисунок 3.13– Комбінований алгоритм перемикання ключа: kp-перемикання по напрузі, KS-перемикання по струму

### 3.5 Висновки до третього розділу

Проведено розрахунки приводу та електричної машини. Створені моделі силового модуля та перетворювача. Визначено методи перемикання клавiш i приведена їх стандартна типова топологія. Для зручності аналізу була використана схема двофазного однофазного перетворення.

## ВИСНОВКИ

Розробка електричних інвалідних візків є вельми актуальною задачею, оскільки вони значно полегшують життя людей з обмеженими фізичними можливостями, забезпечуючи їм незалежність і мобільність. Важливо розглядати інноваційні технології для покращення функціональних можливостей візків, таких як підвищена дальність ходу, легкість управління та інтеграція з іншими медичними технологіями. Врахування специфічних потреб українських користувачів та умов експлуатації, таких як нерівні дороги і обмежена інфраструктура, вимагає розробки візків, які будуть адаптовані до місцевих умов.

З цією метою було проведено огляд існуючих електромеханічних колісних крісел. На основі проведеного аналізу була розроблена конструкція електричного інвалідного візка в середовищі SolidWorks. Проведено розрахунки приводу та елементів. Розроблено моделі перетворювача та двигуна.

Отже впровадження сучасних електричних візків сприятиме підвищенню якості життя осіб з обмеженими фізичними можливостями, забезпечуючи їм більше можливостей для самостійного переміщення та соціальної активності. Загалом, розробка електричних інвалідних візків має великий потенціал для покращення життя людей з обмеженими фізичними можливостями в Україні та по всьому світу, враховуючи інновації, комфорт та безпеку їхнього використання.

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Invacare URL: <https://invacare.kiev.ua/catalog/category/57/vendor12/>
2. PERMOBIL C500 URL: <https://bimedis.net/permobil-c500-m94698>
3. Pride Mobility Products URL: <https://www.pridemobility.com/>
4. F. Le Berr, A. Abdelli, and R. Benlamine, "Sensitivity study on the design methodology of an electric vehicle," in SAE 2012 World Congress & Exhibition. SAE International, apr 2012. [Online]. Available: <https://doi.org/10.4271/2012-01-0820>
5. S. W. Moore, K. M. Rahman, and M. Ehsani, "Effect on vehicle performance of extending the constant power region of electric drive motors," in SAE Technical Paper. SAE International, 03 1999. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.4271/1999-01-1152>
6. M. Ehsani, Y. Gao, and A. Emadi, Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design, 2nd ed. CRC Press, Taylor & Francis Group., 2010.
7. K. Rajashekara, "Present status and future trends in electric vehicle propulsion technologies," IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 1, no. 1, pp. 3–10, March 2013.
8. J. S. H. et. al. (2005) Report on toyota prius motor thermal management. Oak Ridge National Laboratory. Accessed 2013-06-29. [Online]. Available: <http://info.ornl.gov/sites/publications/Files/Pub57487.pdf>
9. J. Slough, M. Belcher, T. Tsui and S. Bhattacharya, "Modeling and Simulation of Electric Vehicles Using Simulink and Simscape," 2021 IEEE 94th Vehicular Technology Conference (VTC2021-Fall), Norman, OK, USA, 2021, pp. 01-06, doi: 10.1109/VTC2021-Fall52928.2021.9625192.
10. Слеба Д. А. Перетворювальні пристрої електроприводів підйомно-транспортних механізмів. Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра за освітньо-професійною програмою «Електромеханічні системи

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

автоматизації, електропривод та електромобільність» [Електронний ресурс] / Денис Андрійович Слеба // Київ. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://core.ac.uk/outputs/541279875>.

11. S. K. Vempalli, J. Ramprabhakar, S. Shankar and G. Prabhakar, "Electric Vehicle Designing, Modelling and Simulation," *2018 4th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, Mangalore, India, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/I2CT42659.2018.9058161.

12. Martyushev NV, Malozyomov BV, Sorokova SN, Efremenkov EA, Qi M. Mathematical Modeling the Performance of an Electric Vehicle Considering Various Driving Cycles. *Mathematics*. 2023; 11(11):2586. <https://doi.org/10.3390/math11112586>

13. M. Lenz. (2011) Individual e-mobility system solutions for automotive and off-highway applications. Boscg Engineering GmbH. Presentation, Accessed 2015-06-30. [Online]. Available: [http://www.a3ps.at/site/sites/default/files/conferences/2011\\_eco-mobility2011/2011\\_Eco-Mobility\\_01\\_03\\_Lenz.pdf](http://www.a3ps.at/site/sites/default/files/conferences/2011_eco-mobility2011/2011_Eco-Mobility_01_03_Lenz.pdf)

14. (2010) Remy hvh250 series electric motors, specifications. Remy Electric Motors, Remy International Inc. Accessed 2016-09-01. [Online]. Available: [https://www.remyinc.com/docs/HVH250\\_r3\\_Sept\\_2010.pdf](https://www.remyinc.com/docs/HVH250_r3_Sept_2010.pdf)

15. Експериментальна установка для реалізації складних високоточних алгоритмів керування електроприводом змінного струму – І.В.Сметана, асп. – Вісник Вінницького політехнічного університету, 2005 - №5, с.22 - 25

16. Матричні перетворювачі частоти фірми Yaskawa. URL: [https://www.yaskawa.eu.com/products/ac-drives/legacy-drives/productdetail/product/cimr-ac4a0139taa\\_1347](https://www.yaskawa.eu.com/products/ac-drives/legacy-drives/productdetail/product/cimr-ac4a0139taa_1347)

17. E. A. Grunditz and T. Thiringer, "Performance analysis of current bevs based on a comprehensive review of specifications," *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 2, no. 3, pp. 270–289, Sept 2016.

									Арк.
									60
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА24.00.00.000ПЗ				

18. R. Sehab, B. Barbedette, and M. Chauvin, “Electric vehicle drivetrain: Sizing and validation using general and particular mission profiles,” in Mechatronics (ICM), 2011 IEEE International Conference on, April 2011, pp. 77–83.

19. Huber, L. and Borojevic, D., 'Space Vector Modulated Three-Phase to Three-Phase Matrix Converter with Input power Factor Correction', IEEE® Transactions on Industry Applications, Vol. 31, No. 6, November/December 1995.

20. Prasad, V.H., 'Analysis and Comparison of Space Vector Modulation Schemes For Three-Leg and Four-leg Voltage Source Inverters', Masters Thesis, Electrical Engineering, Virginia Tech, May 15, 1997.

21. Cao J and Emadi A 2011 “A new battery/ultracapacitor hybrid energy storage system for electric, hybrid, and plug-in hybrid electric vehicles,” IEEE Transactions on power electronics, 27(1), pp.122-132.

22. Vidhya S D and Balaji M 2019 “Modelling, design and control of a light electric vehicle with hybrid energy storage system for Indian driving cycle,” Measurement and Control, 52(9-10), pp.1420-1433.

23. Shukla A and Raju C 2018 “Model Based Designing Approach for Implementation of Hybrid Electric Vehicles Using Matlab/Simulink,” Journal of Advanced Research in Computer Technology & Software Applications, 2(1), pp.13-16.

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

## Додаток А

### Лістинг програми керування

```
int motor_1 = 2;
int pin3 = 3;
int pin4 = 4;
int motor_2 = 8;
int pin9 = 9;
int pin10 = 10;
int pin11 = 11;
int tester =0;

void setup()
{
  pinMode(motor_1, OUTPUT);
  pinMode(pin3, OUTPUT);
  pinMode(pin4, INPUT);
  pinMode(motor_2, OUTPUT);
  pinMode(pin9, OUTPUT);
  pinMode(pin10, INPUT);
  pinMode(pin11, OUTPUT);

}

void loop()
{
```

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

```

digitalWrite(motor_1, HIGH); //makes pin 2 high
digitalWrite(pin3, HIGH); //makes pin 3 high
digitalWrite(pin11,HIGH);
tester = digitalRead(pin4); //store pin 4 value in tester

if(tester == 1){ // clockwise rotate
    digitalWrite(motor_2, HIGH);
    digitalWrite(pin9, LOW);
}
else{ //Anticlockwise rotate
    if (digitalRead(pin10)== 1){

        digitalWrite(pin9, LOW);
        digitalWrite(motor_2, LOW);
    }
    else{

        digitalWrite(motor_2, LOW);
        digitalWrite(pin9, HIGH);
    }
}
}
}
}

```

					БРМА24.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63