

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

**1 КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **«Дослідження електричних сигналів DC/DC перетворювача  
електромобіля»**

Виконав: студент VI курсу групи Ат-63

Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”  
(шифр і назва)

Микола КОТУНОВИЧ  
(ім'я та прізвище)

Керівник: Юрій ГАБРІЄЛЬ  
(ім'я та прізвище)

Дубляни 2024



УДК 629.06

Котунович Микола Володимирович. «Дослідження електричних сигналів DC/DC перетворювача електромобіля»

//Магістерська робота. – Дубляни: Львівський національний аграрний університет, 2024. – 61 с.

Розглянуто типи електромобілів та проведено аналіз компонентів, що використовуються в електромобілях. Описано особливості заряджання акумуляторної батареї електромобіля та типи зарядних пристроїв. Проведено вимірювання вхідного та вихідного струмів DC-DC перетворювача. Наведено осцилограми напруги на вхідній та вихідній котушках індуктивності DC/DC перетворювача. Наведено інструкції з техніки безпеки при проведенні ремонту електромобіля. Здійснено розрахунок економічної вигоди при впровадженні запропонованої розширеної діагностики.

Табл. 6; рис. 20, бібліогр. джерел 24

## ЗМІСТ

ЗМІСТ .....	4
ВСТУП .....	6
1 ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ ТА ОСНОВНІ ЙОГО КОМПОНЕНТИ .....	7
1.1 Типи електромобілів.....	8
1.1.1 Акумуляторні електромобілі (BEV) .....	12
1.1.2 Гібридні електромобілі (HEV).....	12
1.1.3 Плагін-гібридні електромобілі (PHEV).....	13
1.1.4 Основні компоненти акумуляторного електромобіля .....	13
1.2 Електродвигуни.....	15
1.3 Акумуляторні батареї .....	21
1.4 Бортовий зарядний пристрій (OBC).....	23
1.5 Контролер силової електроніки (PCU) .....	24
2 ОСОБЛИВОСТІ ЗАРЯДКИ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ.....	26
2.1 Система заряджання змінним струмом .....	26
2.2 Силові електронні перетворювачі для заряджання акумулятора EV .....	27
2.3 Топології перетворювачів AC–DC .....	28
2.4 Топології перетворювачів постійного струму .....	31
2.4.1 Понижуючий перетворювач .....	31
2.4.2 Підвищувальний перетворювач .....	32
2.4.3 Понижуючо-підвищувальний перетворювач.....	32
2.4.4 Перетворювач Cuk .....	33
2.4.5 Перетворювач SEPIC.....	33
2.4.6 Zeta Converter .....	35
2.4.7 Двонаправлені DC-DC перетворювачі .....	35
2.4.8 Зворотний перетворювач .....	37
2.4.9 Прямий перетворювач.....	37
2.4.10Напівмостовий перетворювач (HBC) .....	38
2.4.11Повномостовий перетворювач (FBC) .....	39
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА .....	40

3.1	Вимірювання вхідного струму споживання DC-DC перетворювача .....	40
3.2	Вимірювання струму заряджання акумуляторної батареї.....	41
3.3	Вимірювання напруги на котушках індуктивності DC-DC перетворювача .....	43
4	ОХОРОНА ПРАЦІ .....	45
4.1	Структурно-функціональний аналіз робіт та моделювання травмонебезпечних ситуацій .....	45
4.2	Заходи з охорони праці під час виконання технологічної операції.	47
5	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	52
5.1	Визначення затрат на оплату праці робітників.....	52
5.2	Визначення вартості основних фондів .....	54
5.3	Визначення прибутку .....	57
	ВИСНОВКИ.....	59
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60

## ВСТУП

Електромобілі набувають все більшої популярності завдяки своїй екологічно чистій та економічно вигідній природі порівняно з традиційними автомобілями на внутрішньому згорянні. У всіх моделях електромобілів акумулятори є ключовим джерелом електроенергії [1–4].

Батареї, використовувані в електромобілях, повинні мати високу щільність енергії для забезпечення дальших поїздок і високу щільність потужності для ефективного прискорення при менших розмірах та масі електромобіля [5]. На сучасному ринку літій-іонні (Li-ion) батареї з високою щільністю енергії (140 Вт·год/кг) все більше стають доступними, витісняючи нікель-метал гідридні (Ni-MH) і свинцево-кислотні батареї в електромобілях.

Однак літій-іонні батареї повинні функціонувати в строгих межах стану заряду (SOC), щоб уникнути передчасного зносу [6] та ризику вибуху. Для ефективного контролю та узгодження SOC використовуються системи управління батареями на основі силової електроніки (BMS) [7–12].

Однією з ключових складових електромобіля є DC/DC перетворювач, відповідальний за перетворення змінного струму з електромережі або генератора в постійний струм, що живить тяговий двигун. DC/DC перетворювачі працюють на високих частотах, генеруючи складні електричні сигнали, які містять важливу інформацію щодо їхньої роботи, корисної для діагностики та технічного обслуговування.

Отже, в даній дипломній роботі ми розглянемо електричну структуру та особливості роботи DC/DC перетворювача в контексті його використання в електромобілях, що може сприяти подальшому розвитку та вдосконаленню технологій електромобільності.

## 2 ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ ТА ОСНОВНІ ЙОГО КОМПОНЕНТИ

Початкові роки розвитку автомобілів відзначились гострою конкуренцією між бензиновими, паровими та електричними транспортними засобами. Інновації породжували нові інновації, оскільки з'явилася велика кількість виробників і підприємців, які пропонували різноманітні автомобілі для привертання уваги та відповіді на потреби споживачів. Кілька сміливих виробників навіть випустили на шляхи бензиново-електричні гібриди.

Сучасний ринок відображає початковий розвиток із його постійним ростом технологій, дизайну та інновацій, які відповідають сучасному способу життя. Один із недавніх концептів, Chevrolet Volt, є першим гібридним автомобілем компанії, який заряджається від електромережі. Автомобіль оснащений "системою E-flex" — інноваційною трансмісією, яка працює виключно на електроенергії до розряду акумулятора. Після цього вмикається невеликий двигун внутрішнього згорання, не для приведення автомобіля в рух, а для живлення бортового генератора, який виробляє електроенергію для заряджання акумуляторної батареї.

Електромобіль (EV) використовує електричний двигун для тяги та хімічні батареї, паливні елементи, ультраконденсатори та/або маховики як відповідні джерела енергії. Електромобіль має багато переваг перед звичайним транспортним засобом із двигуном внутрішнього згорання (ICEV), наприклад відсутність викидів, високий ККД, незалежність від палива, а також тиху та плавну роботу. Принципи роботи та фундаментальні принципи електромобілів і електромобілів ICEV подібні. Однак існують деякі відмінності між електромобілями ICEV і електромобілями EV, наприклад використання бензинових баків замість акумуляторів, ДВЗ проти електродвигунів і різні трансмісії. Тобто електромобіль має багато переваг перед звичайним транспортним засобом із двигуном внутрішнього згорання, таких як відсутність викидів, висока ефективність, незалежність від нафти, а також тиха та плавна робота. Принципи роботи та фундаментальні принципи

електромобілів і електромобілів ICEV подібні. Однак існують деякі відмінності між електромобілями ICEV і електромобілями, наприклад використання бензинових баків замість акумуляторів, ДВЗ проти електродвигунів і різні трансмісії.

## 2.1 Типи електромобілів

Раніше EV в основному був перероблений з існуючого ICEV шляхом заміни двигуна внутрішнього згоряння та паливного бака на електромоторний привід і блок акумуляторів, відповідно, зберігаючи всі інші компоненти, як показано на рис.1.1. Такі недоліки, як велика вага, менша гнучкість щодо вдосконалення та погіршення продуктивності, спричинили зникнення використання цього типу електромобілів.

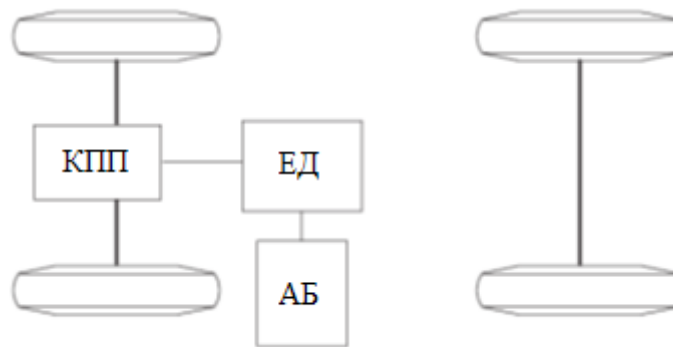
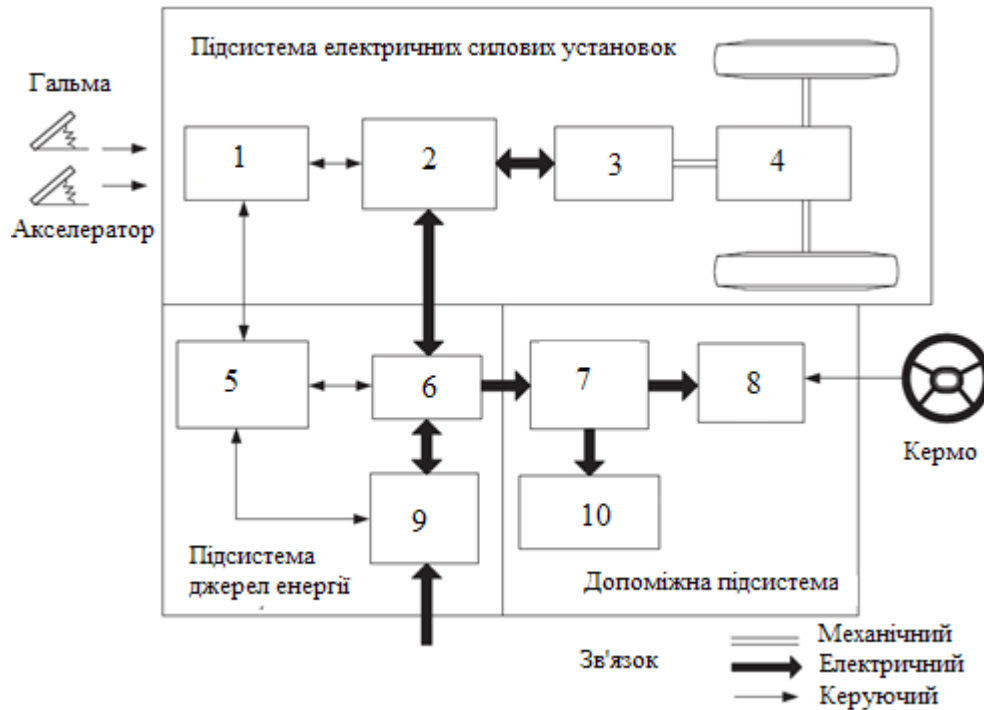


Рисунок 2.1 – Типова схема ранніх електромобілів

На його місці сучасний EV побудований на основі оригінальних конструкцій кузова та рами. Це задовольняє вимоги до конструкції, унікальні для електромобілів, і використовує більшу гнучкість електричної тяги. Сучасний електричний привід концептуально проілюстрований на рис. 1.2. Привід складається з трьох основних підсистем: електричного двигуна, джерела енергії та допоміжної системи. Підсистема електричної тяги складається з контролера автомобіля, силового електронного перетворювача, електродвигуна, механічної трансмісії та ведучих коліс. Підсистема джерела енергії включає джерело енергії, блок керування енергією та блок енергозаправки. Допоміжна підсистема складається з блоку гідропідсилювача керма, блоку клімат-контролю та блоку допоміжного живлення.





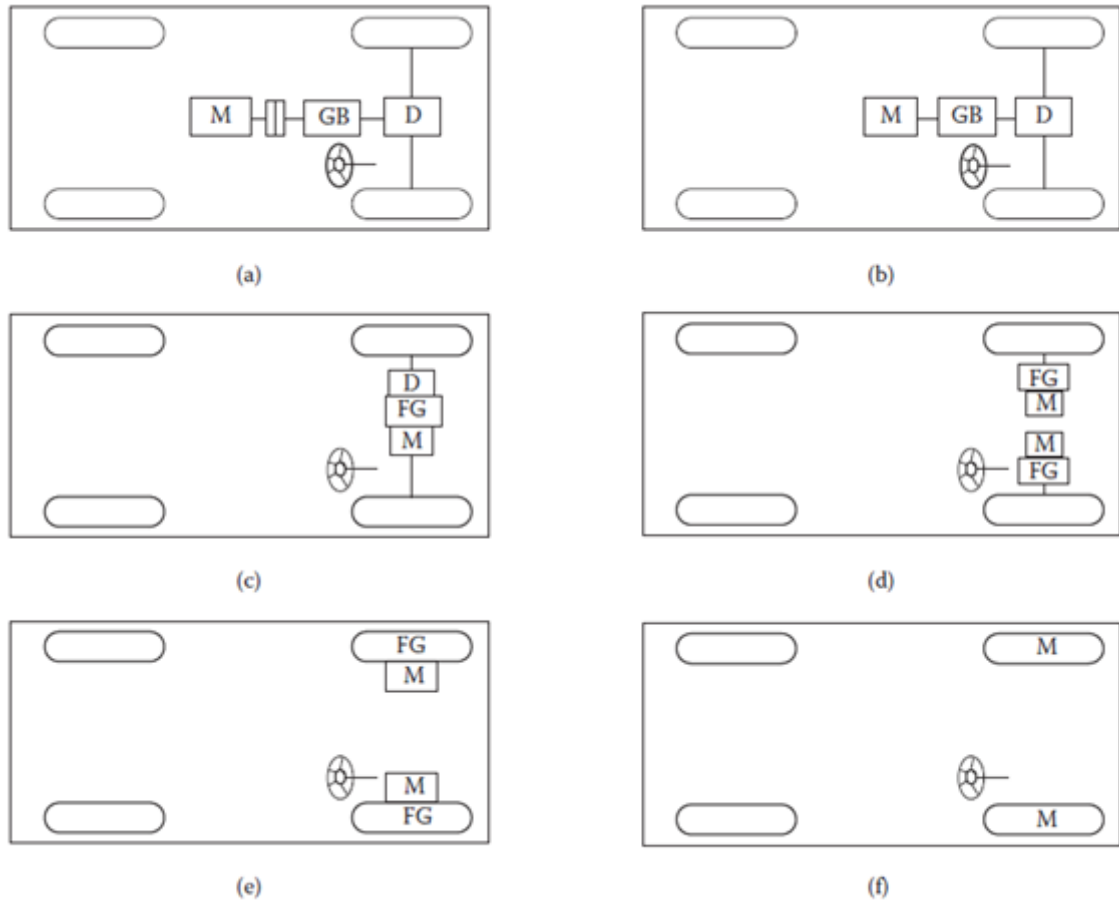
1 – контролер транспортного засобу; 2 – електронний перетворювач живлення; 3 – електродвигун; 4 – механічна трансмісія; 5 – блок енергоменеджменту; 6 – джерело енергії; 7 – Допоміжне джерело живлення; 8 – підсилювач керма; 9 – енергозаправний вузол; 10 – блок клімат-контролю

Рисунок 2.2 – Типова загальна конфігурація електромобіля

На основі керуючих сигналів від педаль акселератора та гальма контролер транспортного засобу подає правильні сигнали керування електронному перетворювачу енергії, який функціонує для регулювання потоку потужності між електродвигуном та джерелом енергії. Зворотний потік потужності відбувається завдяки рекуперативному гальмуванню електромобіля, і ця регенована енергія може бути відновлена в джерелі енергії, якщо джерело енергії сприйнятливий. Більшість акумуляторів для електромобілів, а також ультраконденсатори та маховики легко володіють здатністю приймати регеновану енергію. Блок управління енергією співпрацює з контролером транспортного засобу для керування рекуперативним гальмуванням і його рекуперацією енергії. Він також працює з блоком зарядки, щоб керувати ним та контролювати придатність джерела енергії. Допоміжне джерело живлення забезпечує необхідну потужність при

різних рівнях напруги для всіх допоміжних пристроїв електромобілів, особливо систем клімат-контролю та підсилювача керма.

Існує безліч можливих конфігурацій електромобілів через варіації характеристик електричної тяги та джерел енергії, як показано на рис. 1.3.



С – Зчеплення; D – Диференціал; FG– Фіксована передача; GB – Коробка передач; M – Електродвигун.

Рисунок 2.3 – Можливі конфігурації електромобілів

(a) На рис. 1.3(a) показана конфігурація першого варіанту, в якому електрична тяга замінює двигун внутрішнього сполучення традиційного транспортного засобу. Він складається з електродвигуна, зчеплення, коробки передач і диференціала. Можлива заміна зчеплення і коробки передач на АКПП. Муфта служить для підключення або відключення живлення електродвигуна від ведених коліс. Коробка передач забезпечує набір передавальних чисел для зміни профілю швидкості та потужності (крутного моменту) відповідно до вимог навантаження. Диференціал — це механічний

пристрій (зазвичай набір планетарних передач), який дозволяє колесам обох сторін рухатися з різною швидкістю, коли автомобіль рухається по криволінійній траєкторії.

(b) З електродвигуном, який має постійну потужність у великому діапазоні швидкостей, фіксована передача може замінити багатошвидкісну коробку передач і зменшити потребу у зчепленні. Ця конфігурація не тільки зменшує розмір і вагу механічної трансмісії, але й спрощує керування трансмісією, оскільки перемикання передач не потрібне.

(c) Подібно до трансмісії (b), електродвигун, фіксована передача та диференціал можуть бути додатково інтегровані в єдиний вузол, коли обидві осі спрямовані на обидва ведучі колеса. Вся трансмісія додатково спрощена та ущільнена.

(d) На рис. 1.3(d) механічний диференціал замінено на використання двох тягових двигунів. Кожне з них приводить в рух одне бічне колесо та працює з різною швидкістю, коли транспортний засіб рухається по криволінійній дорозі.

(e) Для подальшого спрощення трансмісії тяговий двигун можна розмістити всередині колеса. Таке розташування є так званим колісним приводом. Для зменшення швидкості двигуна та підвищення крутного моменту двигуна можна використовувати тонку планетарну передачу. Тонка планетарна шестерня пропонує перевагу високошвидкісного редукційного числа, а також рядне розташування вхідного та вихідного валу.

(f) Повністю відмовившись від будь-якої механічної передачі між електродвигуном і ведучим колесом, вихідний ротор низькошвидкісного електродвигуна в приводі коліс можна безпосередньо з'єднати з ведучим колесом. Контроль швидкості електродвигуна еквівалентний контролю швидкості коліс і, отже, швидкості автомобіля. Однак таке розташування вимагає від електродвигуна більшого крутного моменту для запуску та прискорення автомобіля.

Основні компоненти акумуляторного електромобіля можна розділити на дві категорії: компоненти приводу та компоненти підтримки. Компоненти приводу включають тяговий двигун, перетворювач, бортовий зарядний пристрій і контролер силової електроніки. Компоненти підтримки включають допоміжну батарею, зарядний порт, теплову систему і трансмісію.

### **2.1.1 Акумуляторні електромобілі (BEV)**

B = Battery, E = Electric, V = Vehicle.

Акумуляторні електромобілі – це транспортні засоби, які повністю працюють на електроенергії. Вони не використовують для роботи яке-небудь інше паливо, таке як бензин чи дизельне паливо. Вони є повністю електричними транспортними засобами, які живляться з акумуляторів, встановлених в самому транспортному засобі. Такі електромобілі є екологічно чистими, оскільки не викидають шкідливі речовини в навколишнє середовище, що робить їх нульовими викидами. Заряджати акумуляторний електромобіль досить просто, оскільки для цього можна використовувати звичайні домашні електричні розетки або спеціальні зарядні станції, якщо вони доступні. Частиною екземплярів акумуляторних електромобілів є Tesla Model 3, Peugeot e-208, MGZS EV, Nissan Leaf, Renault Zoe, Hyundai Kona Electric, Kia e-Niro, Jaguar I-Pace тощо [6].

### **2.1.2 Гібридні електромобілі (HEV)**

H = Hybrid, E = Electric, V = Vehicle.

Гібридні автомобілі поєднують два джерела енергії: внутрішній згоряння, який працює на бензині або дизельному паливі, і електричний двигун, який працює від акумуляторної батареї. Ця комбінація дозволяє автомобілю ефективно використовувати енергію та зменшувати викиди шкідливих речовин у атмосферу.

Гібридні автомобілі використовують систему рекуперативного гальмування, яка дозволяє заряджати акумуляторну батарею під час

гальмування або сповільнення. Це полегшує збереження енергії і підвищує ефективність автомобіля.

Такі гібриди переважно використовують акумулятор для низьких швидкостей та в міському режимі, а двигун внутрішнього згорання активується при вищих швидкостях або під час потреби більшого обсягу потужності. Це дозволяє покращити паливну ефективність та знизити викиди шкідливих газів. Частиною екземплярів гібридних електромобілів є Toyota Corolla Hybrid, Toyota Yaris Hybrid, Lexus RX450h, Ford Mondeo Hybrid, Honda NSX тощо [6].

### **2.1.3 Плагін-гібридні електромобілі (PHEV)**

P = Plug-in, H = Hybrid, E = Electric, V = Vehicle.

Ці електричні транспортні засоби подібні до гібридних транспортних засобів, але відмінність полягає в тому, що ми можемо заряджати свій автомобіль, підключаючи зарядний пристрій безпосередньо, на відміну від гібридних електромобілів, де акумулятор заряджається лише за рахунок рекуперативного гальмування. Такі транспортні засоби мають як двигун внутрішнього згорання, так і акумулятори, тому їх можна використовувати в обох режимах.

Плагін-гібридні електромобілі можуть працювати до 30 миль від акумулятора після одного заряду, після чого автомобіль починає працювати на пальному. Деякі приклади плагін-гібридних електромобілів включають Mitsubishi Outlander, Volvo XC60 Twin Engine, BMW 225xe, Volkswagen Golf GTE, Toyota Prius Plug-in, Mercedes-Benz E350 e SE та інші [6].

### **2.1.4 Основні компоненти акумуляторного електромобіля**

Опишемо основні компоненти акумуляторного автомобіля.

#### **1. Допоміжна батарея**

Допоміжна батарея забезпечує живлення для систем автомобіля, які не є безпосередньо пов'язані з приводом, таких як освітлення, інформаційно-

розважальна система та клімат-контроль. Допоміжна батарея зазвичай має нижчу напругу та ємність, ніж тягова батарея.

## 2. Зарядний порт

Зарядний порт дозволяє автомобілю заряджатися від зовнішнього джерела живлення. Зарядні порти можуть бути розташовані в різних місцях на автомобілі, але вони зазвичай знаходяться в передній частині автомобіля.

## 3. DC/DC перетворювач

Перетворювач перетворює напругу та струм від тягової батареї на напругу та струм, необхідні для роботи інших систем автомобіля. Перетворювачі можуть бути як однофазними, так і багатofазними.

## 4. Тяговий двигун

Тяговий двигун перетворює електричну енергію з тягової батареї на механічну енергію, яка обертає колеса автомобіля. Тягові двигуни в акумуляторних електромобілях зазвичай є безколекторними двигунами постійного струму.

## 5. Бортовий зарядний пристрій

Бортовий зарядний пристрій (OVC) перетворює змінний струм від зовнішнього джерела живлення на постійний струм, який використовується для заряджання тягової батареї. OVC також відповідає за захист тягової батареї від перевантаження та перегріву.

## 6. Контролер силової електроніки

Контролер силової електроніки (PCU) керує роботою тягового двигуна та перетворювача. PCU відповідає за забезпечення плавного та ефективного управління двигуном.

## 7. Теплова система

Теплова система відводить тепло від двигуна, трансмісії та інших компонентів автомобіля. Теплова система допомагає запобігти перегріву цих компонентів.

## 8. Тягова акумуляторна батарея

Тягова акумуляторна батарея накопичує енергію, яка використовується для приводу автомобіля. Тягові акумуляторні батареї в акумуляторних електромобілях зазвичай складаються з літєвих іонних осередків.

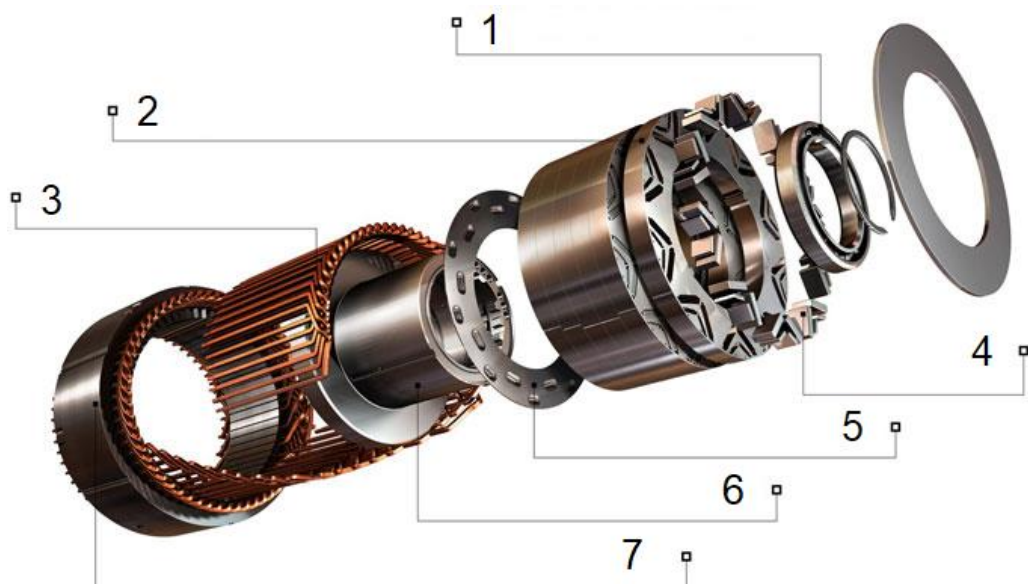
## 9. Трансмсія

Трансмсія передає крутний момент від тягового двигуна до коліс. Трансмсія в акумуляторних електромобілях зазвичай є безступінчастою трансмісією (CVT).

Основні компоненти акумуляторного електромобіля можна розділити на дві категорії: компоненти приводу та компоненти підтримки. Компоненти приводу включають тяговий двигун, перетворювач, бортовий зарядний пристрій і контролер силової електроніки. Компоненти підтримки включають допоміжну батарею, зарядний порт, теплову систему і трансмісію.

## 2.2 Електродвигуни

Електромобілі використовують різні типи електродвигунів для забезпечення руху. Надалі опишемо основні типи електродвигунів, що застосовуються в електромобілях.



1 – Підшипник; 2 – секція ротора; 3 – обмотки статора; 4 – постійні магніти; 5 – стальна пластина; 6 – Маточина ротора; 7 – осердя статора.

Рисунок 2.4 – Будова синхронного двигуна з постійними магнітами

***Синхронні електродвигуни з постійними магнітами*** (Permanent Magnet Synchronous Motors - PMSM).

Цей тип електродвигуна широко використовується в електромобілях, оскільки він має високу ефективність, крутний момент і стійкість до перевантаження.

Принцип дії PMSM можна пояснити наступним чином: ротор електродвигуна складається з постійних магнітів, які створюють магнітне поле.

Статор електродвигуна складається з обмоток, які живляться змінним струмом. Коли через обмотки статора проходить змінний струм, вони створюють магнітне поле, яке обертається з частотою змінного струму. Магнітне поле статора взаємодіє з магнітним полем ротора, що призводить до обертання ротора.

Ротор - обертова частина двигуна, яка передає крутний момент від ротора до трансмісії та складається з постійних магнітів, які створюють магнітне поле. Магніти можуть бути розташовані на поверхні ротора або всередині нього.. Статор - нерухома частина двигуна, складається з обмоток, які живляться змінним струмом. Обмотки можуть бути однофазними або багатофазними.

Переваги PMSM: Висока ефективність (до 98%), Великий крутний момент, Стійкість до перевантаження.

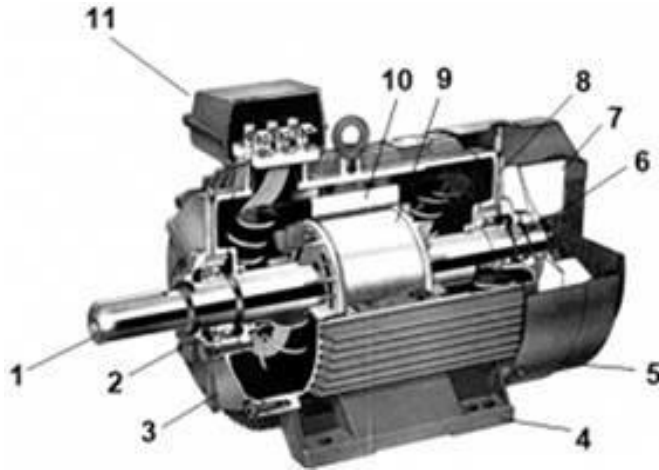
Недоліки PMSM: Складніша конструкція, Висока вартість, Вимога до високої напруги

PMSM широко використовуються в електромобілях, оскільки вони мають високу ефективність і крутний момент. Вони також використовуються в інших галузях, таких як промисловість і електроніка.

***Асинхронні електродвигуни*** (Induction Motors) - це електричні машини змінного струму, в яких ротор обертається з частотою, яка менше частоти обертання магнітного поля статора. Це досягається шляхом використання обмоток на роторі, які створюють індукційний струм.



Асинхронний електродвигун (рис.1.5) складається з наступних основних частин: ротор - обертова частина двигуна, яка створює індукційний струм; статор - нерухома частина двигуна, яка містить обмотки, що створюють магнітне поле.



1 – вал; 2, 6 – підшипники; 3, 8 – підшипникові щити; 4 – лапи; 5 – кожух вентилятора; 7 – крильчатка вентилятора; 9 – короткозамкнутий ротор; 10 – статор; 11 – коробка виводів.

Рисунок 2.5 – Будова асинхронного двигуна

Основна відмінність між асинхронними електродвигунами з короткозамкнутою обмоткою та фазною обмоткою полягає в тому, що у асинхронних електродвигунів з короткозамкнутою обмоткою індукційний струм створюється під дією магнітного поля статора, а у асинхронних електродвигунів з фазною обмоткою індукційний струм створюється за рахунок живлення обмоток ротора змінним струмом.

Асинхронні електродвигуни з короткозамкнутою обмоткою мають простішу конструкцію і меншу вартість, ніж асинхронні електродвигуни з фазною обмоткою. Однак вони мають меншу ефективність і крутний момент, ніж асинхронні електродвигуни з фазною обмоткою.

Статор асинхронного електродвигуна складається з обмоток, які живляться змінним струмом. Обмотки можуть бути однофазними або багатофазними. Вал асинхронного електродвигуна передає крутний момент від ротора до трансмісії.

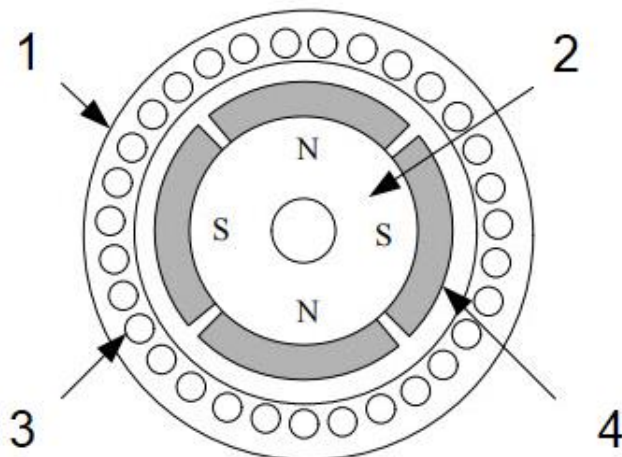
Принцип дії асинхронного електродвигуна можна пояснити наступним чином: коли через обмотки статора проходить змінний струм, вони створюють магнітне поле, яке обертається з частотою змінного струму, магнітне поле статора взаємодіє з магнітним полем ротора, ротор обертається з частотою, яка менше частоти обертання магнітного поля статора.

Асинхронні електродвигуни з короткозамкнутою обмоткою мають простішу конструкцію і меншу вартість, ніж асинхронні електродвигуни з фазною обмоткою. Однак вони мають меншу ефективність і крутний момент, ніж асинхронні електродвигуни з фазною обмоткою.

Переваги: проста конструкція, менше деталей, низька вартість, надійність.

Недоліки: нижчий крутний момент при низьких обертах, менша ефективність порівняно з PMSM.

**Безколекторний двигун постійного струму** (Brushless DC Motors - BLDC). Цей тип електродвигуна широко використовується в електромобілях, оскільки він має високу ефективність, крутний момент і стійкість до перевантаження.



1 – Статор; 2 – ротор; 3 – обмотки статора; 4 – постійні магніти.

Рисунок 2.6 – Розріз BLDC двигуна

BLDC складається з наступних основних частин (рис.1.6): ротора - обертової частина двигуна, яка створює магнітне поле та статора - нерухомої частини двигуна, яка містить обмотки, що створюють магнітне поле.

Ротор BLDC складається з постійних магнітів, які створюють магнітне поле. Магніти можуть бути розташовані на поверхні ротора або всередині нього. Статор BLDC складається з обмоток, які живляться змінним струмом. Обмотки можуть бути однофазними або багатофазними. Вал BLDC передає крутний момент від ротора до трансмісії.

Коли через обмотки статора проходить змінний струм, вони створюють магнітне поле, яке обертається з частотою змінного струму. Магнітне поле статора взаємодіє з магнітним полем ротора при цьому ротор обертається з частотою, яка менше частоти обертання магнітного поля статора.

Обертання BLDC контролюється за допомогою електронного контролера. Контролер керує фазами обмоток статора, щоб забезпечити оптимальне взаємодію магнітних полів статора і ротора. Контролер також забезпечує захист BLDC від перевантаження та інших несправностей.

Датчик положення ротора (ДПР) функціонує як засіб зворотного зв'язку, що визначає положення ротора, виконуючи подібну роль до колектора у двигуні постійного струму. Цей датчик може працювати на основі різних принципів, таких як фотоелектричний, індуктивний, ефект Холла тощо. Давачі Холла і фотоелектричні набули значної популярності, оскільки вони майже не мають інерції і дозволяють уникнути затримок у каналі зворотного зв'язку за положенням ротора.

Фотоелектричний датчик у класичному вигляді має три нерухомі фотоприймачі, які синхронно обертаються за допомогою шторки разом з ротором, як показано на малюнку. Двійковий код, який отримується з ДПР, фіксує шість різних положень ротора. Сигнали від датчиків перетворюються керуючим пристроєм у комбінацію керуючих напруг. Ці напруги управляють силовими ключами так, що під час кожного такту (фази) роботи двигуна включаються два ключі, і до мережі приєднуються послідовно дві з трьох

обмоток анкера. Обмотки анкера U, V, W розташовані на статорі зі зсувом на  $120^\circ$ , а їх початки і кінці з'єднані так, що перемикаючи ключі, створюється обертове магнітне поле.

Система керування включає в себе силові ключі, які часто представлені тиристорами або силовими транзисторами з ізольованим затвором. Ці ключі використовуються для здійснення інвертування напруги чи інвертування струму в системі. Зазвичай система керування ключами реалізується за допомогою мікроконтролера. Інтеграція мікропроцесора вимагає великої кількості обчислювальних операцій для ефективного управління двигуном.

Швидкість BLDC регулюється зміною напруги, що подається на його статор. Для цього напруга подається послідовно на обмотки статора, а регулювання відбувається за допомогою силових ключів. Ці ключі також відповідають за зміну швидкості обертання валу двигуна.

У BLDC комутація, на відміну від щіткового електродвигуна постійного струму, здійснюється електронікою, наприклад, електронним регулятором ходу. Розповсюджені системи керування використовують алгоритми широтно-імпульсного регулювання і широтно-імпульсної модуляції для управління BLDC.

Існують системи керування, які надають найширший діапазон регулювання швидкості, такі як системи з векторним керуванням. Ці системи використовують перетворювачі частоти для регулювання швидкості двигуна та підтримки потокозчеплення на заданому рівні.

Особливість регулювання електроприводу з векторним керуванням полягає в тому, що контрольовані координати перетворюються з нерухомої системи координат в обертову. Далі вони аналізуються, ізольоване постійне значення, що пропорційне складовим векторів контрольованих параметрів, використовується для формування керувальних дій, і подалі проводиться зворотний перехід. Недоліками цих систем є складність управління та функціональних пристроїв для забезпечення широкого діапазону регулювання швидкості.

Основна відмінність між BLDC та асинхронними електродвигунами з короткозамкнутою обмоткою полягає в тому, що у BLDC ротор має постійні магніти, а у асинхронних електродвигунів з короткозамкнутою обмоткою ротор має короткозамкнуту обмотку.

BLDC мають ряд переваг перед асинхронними електродвигунами з короткозамкнутою обмоткою, включаючи більш високу ефективність, крутний момент і стійкість до перевантаження. Однак вони також мають більш складну конструкцію і більш високу вартість.

Переваги: висока ефективність, відсутність щіток спрощує обслуговування, висока ефективність при роботі на великих швидкостях.

Недоліки: вища вартість, складніше управління, менший крутний момент при низьких обертах.

### **2.3 Акумуляторні батареї**

Акумуляторні батареї є основним джерелом енергії для електромобілів. Вони забезпечують двигун електроприводу необхідною потужністю та дозволяють електромобілю проїхати певну відстань.

Найбільш поширеними типами акумуляторних батарей, які використовуються в електромобілях, є:

Літієво-іонні батареї. Цей тип батарей має високу енергетичну щільність, що дозволяє електромобілям проїжджати значні відстані на одному заряді. Однак, літієво-іонні батареї також мають високу вартість, і вони можуть бути схильні до перегріву.

Літієво-залізо-фосфатні батареї. Цей тип батарей має нижчу енергетичну щільність, ніж літієво-іонні батареї, але він є більш безпечним і дешевшим. Літієво-залізо-фосфатні батареї також мають більш тривалий термін служби.

Нікель-металгідридні батареї. Цей тип батарей є більш доступним, ніж літієво-іонні батареї, але він має нижчу енергетичну щільність і менший термін служби.

Нікель-кадмієві батареї. Цей тип батарей має низьку вартість, але він також має низьку енергетичну щільність і короткий термін служби.

Таблиця 2.1 – Порівняльні характеристики акумуляторних батарей, що використовуються в електромобілях

Характеристика	Літієво-іонні	Літієво-залізо-фосфатні	Нікел-металгідридні	Нікел-кадмієві
Енергетична щільність, Вт·год/кг	200-300	100-150	100-120	60-80
Вартість, \$/Вт·год	100-200	100-150	50-100	50-100
Безпека	Середня	Висока	Середня	Середня
Термін служби, років	5-10	10-15	3-5	3-5
Дальність ходу, км на одному заряді	250-500	200-350	150-250	100-150
Розміри, см <sup>3</sup> /Вт·год	100-150	200-250	250-300	300-350
Вага, кг/Вт·год	1-2	2-3	3-4	4-5
Зарядна потужність, кВт·год/год	0,5-1	0,5-1	0,5-1	0,5-1
Екологічність	Середня	Висока	Середня	Середня

Вибір типу акумуляторної батареї для електромобіля залежить від ряду факторів, включаючи:

- Вартість. Літієво-іонні батареї є найдорожчим варіантом, але вони також забезпечують найбільшу дальність ходу. Літієво-залізо-фосфатні батареї є більш доступними, але вони мають меншу дальність ходу.
- Безпека. Літієво-іонні батареї можуть бути схильні до перегріву, що може призвести до пожежі. Літієво-залізо-фосфатні батареї є більш безпечними, але вони мають меншу енергетичну щільність.
- Термін служби. Літієво-іонні батареї мають середній термін служби, який становить близько 5 років. Літієво-залізо-фосфатні батареї мають більш тривалий термін служби, який становить близько 10 років. Нікел-металгідридні та нікел-кадмієві батареї мають короткий термін служби, який становить близько 3 років.

- Інші фактори. При виборі типу акумуляторної батареї також слід враховувати такі фактори, як розмір, вага, зарядна потужність та екологічність.

Акумуляторна батарея високовольтної батареї є сумішшю кількох батарейних елементів, організованих у рядки та модулі. Акумуляторна батарея вважається найменшою одиницею акумуляторної батареї. Коли окремі елементи батареї зібрані разом або розташовані разом, вони називаються модулями. Крім того, коли ці модулі з'єднуються разом і організовуються за схемою, вони утворюють акумуляторні блоки.

Приклади використання конкретних акумуляторних батарей.

Літієво-іонні батареї:

Tesla Model 3: 75 кВт·год, 270 км на одному заряді

Chevrolet Bolt: 66 кВт·год, 383 км на одному заряді

Літієво-залізо-фосфатні батареї:

BYD Han EV: 77 кВт·год, 500 км на одному заряді

NIO ES6: 84 кВт·год, 510 км на одному заряді

Нікел-металгідридні батареї:

Nissan Leaf: 40 кВт·год, 242 км на одному заряді

Renault Zoe: 52 кВт·год, 395 км на одному заряді

Нікель-кадмієві батареї:

BMW i3: 42,2 кВт·год, 260 км на одному заряді

Mini Cooper SE: 32,6 кВт·год, 235 км на одному заряді

## **2.4 Бортовий зарядний пристрій (ОВС)**

Бортовий зарядний пристрій (ОВС) є пристроєм, який використовується для заряджання акумуляторного блока електричного транспортного засобу безпосередньо від джерела електроживлення, такого як електрична мережа. Основна мета БЗП - забезпечити ефективне та безпечне заряджання акумуляторів транспортного засобу.

Принцип дії бортового зарядного пристрою полягає в перетворенні змінного струму (АС) з електричної мережі в постійний струм (DC), який використовується для заряджання акумуляторів. Процес заряджання контролюється електронікою зарядного пристрою для забезпечення оптимальних умов для заряджання акумуляторів, включаючи відповідні напругу та струм заряду.

Основні функції бортового зарядного пристрою включають:

1. Керування зарядкою: БЗП визначає оптимальні параметри заряду, такі як напруга та струм, для ефективного та безпечного заряджання акумуляторів.
2. Захист акумуляторів: Вбудовані захисні механізми допомагають запобігти перенапругам, перенавантаженню та іншим умовам, які можуть шкодити акумуляторам.
3. Відображення інформації: Багато БЗП обладнані індикаторами або дисплеями, що відображають інформацію про поточний стан заряду, час заряджання, або можливі помилки.
4. Автоматичний вихід з режиму заряджання: Після завершення заряджання акумуляторів, бортовий зарядний пристрій може автоматично вийти з режиму заряджання, щоб уникнути перезарядження та забезпечити тривалий термін служби акумуляторів.

Бортові зарядні пристрої є важливою частиною інфраструктури для електричних транспортних засобів, дозволяючи власникам заряджати свої транспортні засоби вдома чи на громадських пунктах заряджання.

## **2.5 Контролер силової електроніки (PCU)**

Контролер силової електроніки (PCU - Power Control Unit) є ключовим компонентом системи управління електричним транспортним засобом. Його головним призначенням є керування потоком електроенергії між різними



частинами системи, такими як батарея, електричний двигун та інші компоненти, для забезпечення оптимальної ефективності та безпеки. Основні завдання контролера силової електроніки включають:

1. Управління напругою та струмом: Контролер силової електроніки регулює напругу та струм, які подаються до електричного двигуна з батареї, забезпечуючи необхідний рівень потужності для руху транспортного засобу.
2. Керування частотою та швидкістю обертання: PCU контролює частоту і швидкість обертання електричного двигуна, регулюючи подачу потужності та визначаючи оптимальні параметри для досягнення бажаного рівня продуктивності та ефективності.
3. Рециркуляція енергії: Контролер силової електроніки може використовувати технології рекуперації енергії, збираючи енергію під час гальмування або сповільнення і повертаючи її до батареї для подальшого використання.
4. Захист системи: PCU здійснює захист електричної системи від перенапруг, перевантажень та інших небезпечних умов, що можуть виникнути в процесі експлуатації.
5. Керування терморежимом: Контролер відповідає за підтримання оптимальної температури різних компонентів системи, що включає в себе охолодження електроніки та інших важливих частин.
6. Комунікація з іншими системами: PCU може взаємодіяти з іншими системами транспортного засобу, такими як система керування автомобілем, для забезпечення синхронізації та взаємодії різних компонентів.

Принцип дії полягає в інтелектуальному управлінні потоком електроенергії для оптимізації продуктивності, підвищення ефективності та продовження терміну служби батареї та інших компонентів електричного транспортного засобу.

## 3 ОСОБЛИВОСТІ ЗАРЯДКИ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

### 3.1 Система заряджання змінним струмом

Акумулятори електромобілів можна заряджати від джерела змінного або постійного струму з різними рівнями напруги або струму залежно від вимог до швидкості заряджання. Системи заряджання змінним струмом потребують перетворювачів змінного струму в постійний для заряджання акумуляторів. Відповідно до стандартів Товариства автомобільних інженерів (SAE), системи заряджання змінним струмом можна розділити на три різні рівні потужності [11].

*Рівень 1:* рівень напруги становить 120/240 В, а сила струму може становити від 12 А до 16 А залежно від потужності зарядного пристрою. Ця система не потребує спеціального улаштування, тому її можна використовувати в побутових розетках. Зарядка акумуляторів малих електромобілів з такою схемою може тривати від 0,5 до 12,5 годин. Ця функція робить систему придатною для нічної зарядки [11, 18].

Переваги: низька вартість монтажу; менший вплив години пік на якість електроенергії.

Недоліки: зарядка йде повільно. Електромобіль може проїхати максимум 5–7 км за кожну годину заряджання.

*Рівень 2:* У цій системі заряджання змінним струмом батарея електромобіля безпосередньо підключається до електромережі через бортовий зарядний пристрій. Максимальна потужність систем рівня 2 становить 14,4 кВт при напрузі 240 В та струмі 60 А [11, 18].

Переваги: швидкість заряджання значно вища, ніж при рівні 1, електромобіль може проїхати від 16 до 32 км за годину зарядки; енергоефективний, ніж Рівень 1.

Недоліки: вища вартість встановлення, ніж рівень 1; потенційно вищий вплив години пік на якість електроенергії.

Таблиця 3.1 – Параметри систем зарядки змінним струмом

Рівень заряду	Вхідна напруга (В)	Максимальний струм (А)	Вихідна потужність (кВт)	Доступ додаткових км за годину зарядки	Тривалість зарядки (год)
1	120/240	12-16	1.44-3.84	5-7	0.5-12.5
2	240	60	14.4	16-32	2-5
3	>240	>60	>14.4	80-160	<0.5

*Рівень 3:* у цій системі спеціальний зарядний пристрій для акумулятора електромобіля постійно підключено до електромережі. Такі зарядні системи використовуються при потужності понад 14,4 кВт. Це швидкі зарядні пристрої, які можуть зарядити звичайний акумулятор, який використовується в електромобілів, менш ніж за півгодини. Табл. 2.1 підсумовує параметри визначених SAE систем заряджання змінним струмом [11].

### 3.2 Силові електронні перетворювачі для заряджання акумулятора EV

Силовий електронний перетворювач — це блок обробки енергії зарядного пристрою для акумулятора електромобіля. Продуктивність і рейтинг зарядного пристрою в першу чергу визначаються топологією перетворювача та його рейтингом. Різні конфігурації перетворювачів, які використовуються в системах заряджання акумуляторів для електромобілів, класифіковані на рис. 2.1.



Рисунок 3.1 – Топології перетворювачів потужності, що використовуються в системах зарядки акумуляторів електромобілів

Найпростішою формою силового електронного перетворювача, що використовується в зарядних пристроях для акумуляторів електромобілів, є

перетворювач змінного струму в постійний струм, який підключає акумулятор електромобіля до електромережі або мікромережі. Перетворювачі постійного струму можуть мати функції односпрямованого або двонаправленого потоку енергії. Двоступеневе перетворення потужності (змінний–постійний струм із подальшим перетворенням постійного струму в постійний) є найпоширенішою топологією перетворювача живлення, яка використовується для заряджання акумулятора електромобілів. Зарядні пристрої для електромобілів на основі перетворювача постійного струму використовуються для отримання енергії, отриманої від сонячних фотоелектричних джерел, паливних елементів тощо. Одноступеневе перетворення електроенергії змінного струму в постійний струм також не є рідкістю в наш час [8]. Перетворювачі живлення змінного/постійного струму та постійного/постійного струму можуть мати ізольовані та неізольовані функції з можливістю односпрямованого/двонаправленого потоку енергії. Ступінь змінно-постійного струму в основному використовує неізольований перетворювач для отримання вихідної напруги постійного струму з вхідної напруги мережі змінного струму з роботою PFC. Вихідний сигнал перетворювача AC-DC подається на перетворювач DC-DC через конденсатор ланцюга постійного струму. Ступінь постійного струму використовує ізольований/неізольований перетворювач постійного струму для керування швидкістю заряджання акумулятора електромобіля. З міркувань безпеки ізольовані перетворювачі постійного струму використовуються для зарядки акумуляторів електромобілів.

### **3.3 Топології перетворювачів AC–DC**

Перетворювачі змінного струму в постійний струм переважно перетворюють напругу змінного струму мережі в напругу постійного струму. Деякі перетворювачі змінного струму в постійний струм також виконують корекцію коефіцієнта потужності. Струм, що споживається звичайним перетворювачем змінного та постійного струму, сильно спотворюється, що

призводить до високого сумарного гармонійного спотворення (THD) лінійного струму та поганої роботи коефіцієнта потужності. Таким чином, щоб покращити якість вхідної потужності, усі перетворювачі змінного струму в постійний струм мають включати схеми корекції коефіцієнта потужності (PFC), які змушують вхідні лінійні струми слідувати за формами сигналів мережевої напруги.

В останні роки були розроблені різні топології перетворювача PFC [12–16].

На рис.2.2 показано діодний мостовий випрямляч (DBR) і схему підсилювальної корекції коефіцієнта потужності, щоб мінімізувати THD лінійного струму та покращити вхідний коефіцієнт потужності.

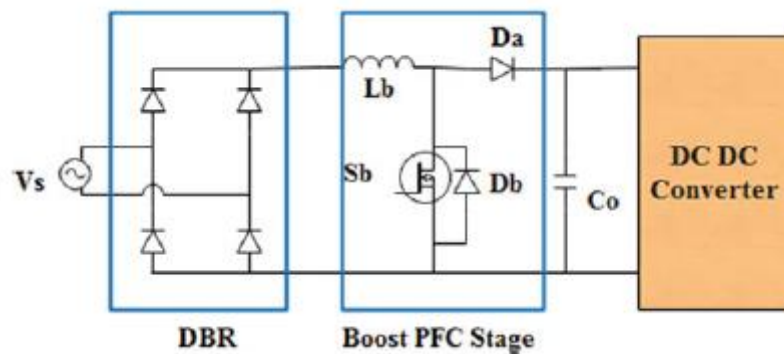


Рисунок 3.2 – Звичайний вхідний перетворювач змінного струму в постійний струм із підсилювальною схемою PFC

Коли підвищувальний перемикач ( $S_b$ ) закритий, підвищувальний індуктивність  $L_b$  зберігає енергію від джерела живлення через DBR, а вихідний конденсатор ( $C_o$ ) керує навантаженням. Протягом цього часу струм індуктивності збільшується. Коли  $S_b$  відкрито, індуктивність ( $L_b$ ) діє як джерело енергії, і його накопичена енергія передається на вихід. За цей час струм індуктивності зменшується. Операція перемикачання  $S_b$  виконується на високій частоті, порядку десятків кГц. Робочий цикл перемикача ( $S_b$ ) регулюється таким чином, що середній струм індуктивності відстежує форму сигналу вхідної напруги лінії для покращення роботи коефіцієнта потужності та одночасно вихідна напруга підтримується на бажаному рівні. Для зміни коефіцієнта заповнення підвищувального перемикача ( $S_b$ ) використовуються

методи керування режимом напруги та режиму струму. У режимі керування напругою вихідна напруга подається на контролер як сигнал зворотного зв'язку для керування коефіцієнтом заповнення. У режимі керування струмом додається внутрішня петля струму, щоб отримати струм індуктивності як сигнал зворотного зв'язку на додаток до сигналу вихідної напруги. Однак топології підвищувального перетворювача страждають від недоліку високої пульсації вихідної напруги. Розмір підвищувального індуктивності також стає дуже великим у потужних додатках.

Безмостові підвищувальні перетворювачі є привабливим рішенням для перетворення коефіцієнта потужності змінного струму в постійний струм у потужних додатках. Однак ці перетворювачі страждають від таких недоліків, що для роботи в замкнутому контурі потрібна складна схема вимірювання, а в систему вводяться великі електромагнітні перешкоди (ЕМІ). Інші топології PFC на основі підвищувального перетворювача включають підвищувальний перетворювач із чергуванням, підвищувальний перетворювач із перемежуванням без мосту тощо.

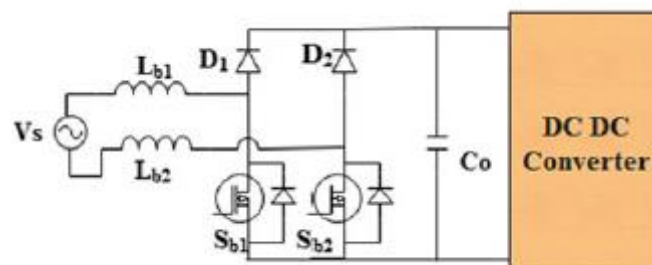


Рисунок 3.3 – Вхідний безмостовий перетворювач змінного струму в постійний струм із підсилювальною схемою PFC

Безмостова топологія, як показано на рис. 2.3, складається з двох керованих перемикачів ( $S_{b1}$  і  $S_{b2}$ ), двох діодів ( $D1$  і  $D2$ ) і двох підвищувальних індуктивностей ( $L_{b1}$  і  $L_{b2}$ ). Під час позитивного напівперіоду посилювальний індуктивність ( $L_{b1}$ ) зберігає енергію через  $L_{b1}$ ,  $S_{b1}$  і основний діод  $S_{b2}$ , коли  $S_{b1}$  стробований. Коли  $S_{b1}$  вмикається, накопичена енергія  $L_{b1}$  вивільняється через  $D1$  і основний діод  $S_{b2}$  до навантаження. Подібним чином, під час негативного напівперіоду напруги живлення,  $S_{b2}$  вмикається, а

підвищувальний індуктивність  $L_{b2}$  накопичує енергію. Пізніше, під час вимкненого стану  $S_{b2}$ ,  $L_{b2}$  віддає свою енергію навантаженню. Наведені вище топології перетворювача змінного струму в постійний струм здатні до односпрямованого потоку електроенергії, і їхнє застосування обмежується лише роботою в режимі від мережі до автомобіля (G2V).

### 3.4 Топології перетворювачів постійного струму

Основною функцією каскаду DC-DC є регулювання напруги та струму відповідно до вимог батареї. Для контролю заряду акумуляторів електромобілів застосовуються методи постійної напруги (CV) і постійного струму (CC). Різні параметри, такі як напруга, струм і стан заряду (SOC) акумуляторів, вимірюються та передаються на контролер заряду, щоб змінювати коефіцієнт навантаження перемикачів живлення перетворювача DC/DC. Перетворювачі DC/DC, що використовуються в системах зарядки акумуляторів, можуть бути ізольованими або неізольованими.

Залежно від напрямку потоку енергії, вони можуть бути класифіковані як однонаправлені та двонаправлені. Тут розглянемо різні неізольовані/ізольовані топології з можливістю однонаправленого/двонаправленого потоку потужності.

#### 3.4.1 Понижуючий перетворювач

На рис. 2.4.а показано неізольований понижуючий перетворювач постійного струму в постійний струм, який використовується в зарядному пристрої EV. Він складається з керованого перемикача ( $S_1$ ), діода ( $D_1$ ) і LC-фільтра на виході. Перемикач Power Electronics—EV Battery Charging ( $S_1$ ) зазвичай працює на високій частоті перемикачів. Коли  $S_1$  увімкнено, струм через батарею поступово збільшується через наявність індуктивності на шляху потоку струму, і, отже,  $L$  накопичує енергію. Протягом цього часу діод  $D_1$  залишається закритим. Коли  $S_1$  вимкнено, батарея від'єднується від джерела, а індуктивність  $L$  подає свою накопичену енергію навантаженню (батареї) через  $D_1$ . Тепер струм через батарею поступово зменшується. Значення

катушки індуктивності визначає, чи працюватиме перетворювач у режимі безперервної провідності (CCM) чи в режимі переривчастої провідності (DCM). За допомогою належного контролю коефіцієнта навантаження регулюється потік потужності до батареї. Для таких перетворювачів вихідна напруга завжди менше вхідної. Цей недорогий перетворювач простий за структурою та експлуатацією. Однак великі пульсації вхідного струму і млява перехідна характеристика є основними недоліками цього перетворювача.

### **3.4.2 Підвищувальний перетворювач**

Підвищувальні перетворювачі в основному використовуються в AC-DC ступені PFC разом з DBR. На рис. 2.4.b показано електричну схему звичайного підвищувального перетворювача, що складається з перемикача (S1), діода (D1), катушки індуктивності (L) і конденсатора фільтра (C<sub>o</sub>). Увімкнувши керований перемикач, підвищувальний індуктивність L починає накопичувати енергію від вхідного джерела (перетворювач змінного струму в постійний). Протягом цього часу D1 не проводить, а навантаження (акумулятор) живиться від C<sub>o</sub>. Під час вимкненого режиму перетворювача D1 отримує пряме зміщення, вхідне живлення послідовно з підвищуючим індуктивністю забезпечує навантаження. Таким чином, напруга навантаження підвищується вище рівня вхідної напруги.

### **3.4.3 Понижуючо-підвищувальний перетворювач**

Конфігурація понижування–підсилення показана на рис. 2.4.c. У ньому використовуються ті ж компоненти, що і в понижуючому або підвищувальному перетворювачі. Коли S1 увімкнено, індуктивність L накопичує енергію. Протягом цього часу діод (D1) не проводить, а навантаження (батарея) живиться від C<sub>o</sub>. Коли S1 вимкнено, L змінює свою полярність і живить батарею через D1. Залежно від коефіцієнта заповнення керованого сигналу, перетворювач може діяти як понижуючий або підвищувальний перетворювач. Великі пульсації вихідного струму і зворотна полярність вихідної напруги є основними недоліками цього перетворювача.



### 3.4.4 Перетворювач Сук

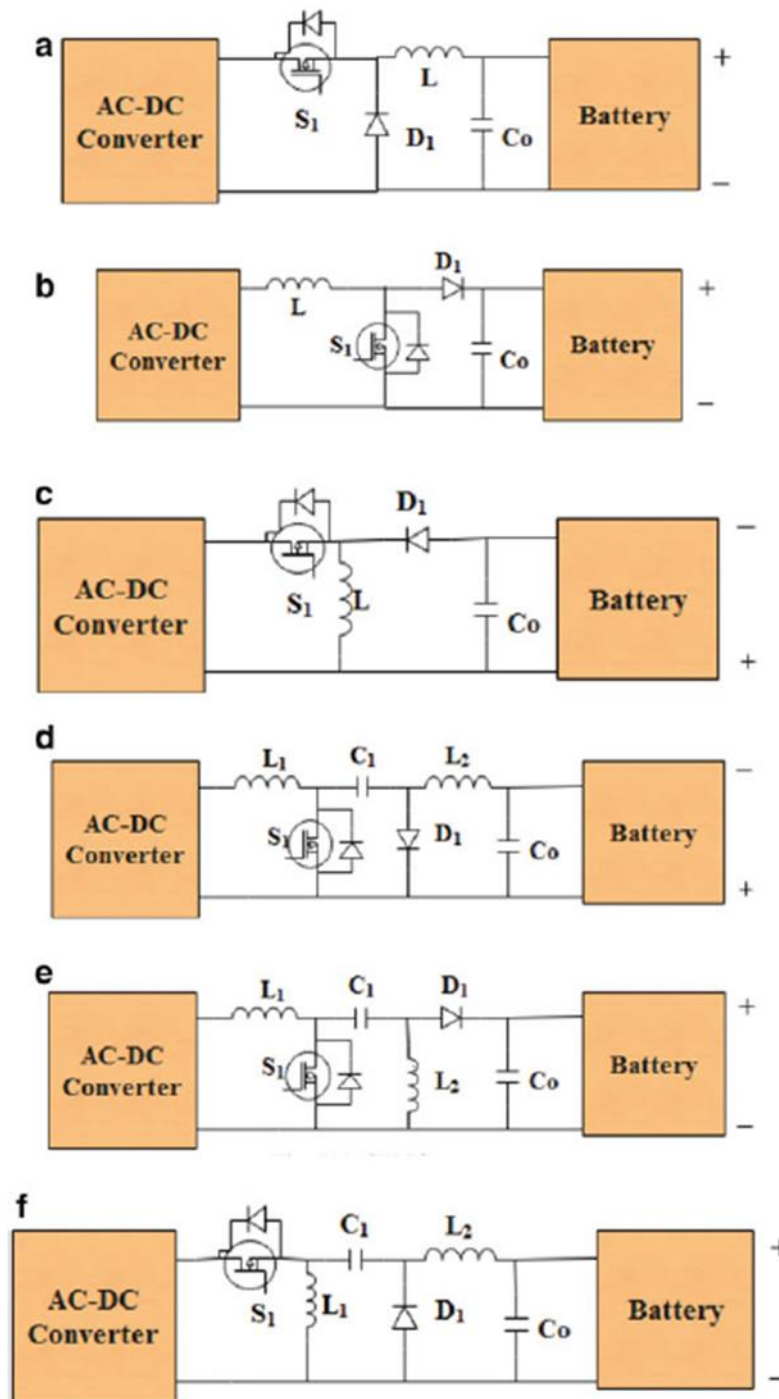
Перетворювач Сук є похідним від базового понижувально-підвищувального перетворювача. Він поєднав у собі всі переваги базових топологій перетворювачів постійного струму, такі як безперервний вхідний і вихідний струм і можливість роботи як в понижувальному, так і в режимі підвищення. Перетворювач сук, як показано на рис. 2.4.d, складається з перемикача (S1), двох котушок індуктивності (L1 і L2), двох конденсаторів (C1 і C<sub>o</sub>) і діода (D1). Конденсатор (C1) є основним елементом передачі енергії, який підключається до входу та виходу по черзі через D1 та S1 відповідно. Під час вимкненого стану S1 конденсатор C1 заряджається від вхідного джерела живлення через L1 і D1. Під час увімкненого стану S1 конденсатор (C1) розряджає свою накопичену енергію до навантаження (батареї) через L2. Котушки індуктивності (L1 і L2) перетворюють джерела напруги в еквівалентні джерела струму. Це перетворення необхідне для обмеження надлишкового потоку струму через конденсатор C1. Основним недоліком перетворювача Сук є зміна полярності вихідної напруги щодо полярності вхідної.

### 3.4.5 Перетворювач SEPIC

Перетворювач SEPIC, показаний на рис. 2.4.e, є похідним від базової топології понижування–підсилення.

Цей перетворювач по суті є комбінацією підвищувального перетворювача та понижувально-підвищувального перетворювача. Цей перетворювач може працювати як в режимі зниження, так і в режимі підвищення без будь-якої зміни полярності вихідної напруги. Контролюючи коефіцієнт заповнення S1, можна регулювати напругу на клеммах навантаження (батареї). Коли S1 увімкнено, L1 накопичує енергію з входу, конденсатор C1 посиляє енергію на L2, а C<sub>o</sub> забезпечує навантаження. Як тільки S1 відкривається, L1 передає свою накопичену енергію до C1, а навантаження через D1. Крім того, L2 також посиляє свою накопичену енергію

до навантаження через D2. Недоліками перетворювача SEPIC є великі пульсації вихідного струму та потреба у великому конденсаторі (C1) для передачі енергії між джерелом і навантаженням.



a - Понижуючий перетворювач; b - підвищуючий перетворювач; c - понижуючо-підвищувальний перетворювач; d - Cuk перетворювач; e - SEPIC перетворювач; f - Zeta перетворювач

Рисунок 3.4 – Топології перетворювачів постійного струму

### 3.4.6 Zeta Converter

Це ще одна популярна топологія DC-DC перетворювача, отримана шляхом перестановки елементів схеми перетворювача SEPIC. Цей перетворювач має здатність передавати потужність як у понижувальному, так і в підвищувальному режимах і створює безперервний вихідний струм. Цей перетворювач також створює вихідну напругу тієї ж полярності, що й вхідна напруга. Порівняно з перетворювачем SEPIC, перетворювач дзета створює низькі пульсації вихідної напруги. Але його пульсація вхідного струму висока, що вимагає великого вхідного конденсатора. Коли перемикач  $S_1$  увімкнено,  $L_1$  і  $L_2$  живляться від вхідного джерела живлення. Тепер конденсатор ( $C_1$ ) передає свою енергію  $L_2$  і навантаженню (батареї). Коли  $S_1$  вимкнено, утворюються дві петлі струму.

В одному контурі конденсатор ( $C_1$ ) заряджається за рахунок накопиченої енергії  $L_1$ , а в іншому контурі  $L_2$  розряджається до батареї через  $D_1$ .

### 3.4.7 Двонаправлені DC-DC перетворювачі

Усі топології базового перетворювача постійного струму в постійний струм, які обговорювалися досі, здатні лише до односпрямованого потоку енергії, тобто від джерела входу (перетворювача змінного струму до постійного струму) до навантаження (батареї). Таким чином, ці перетворювачі підходять для роботи в режимі від мережі до автомобіля (G2V). Останнім часом першочергову увагу приділяють попиту на роботу в режимі від транспортного засобу до мережі (V2G) для повернення збереженої енергії акумулятора в мережу для задоволення пікового попиту на енергію. На рис. 2.5(a–d) показані різні неізольовані топології двонаправленого перетворювача постійного струму. На рис. 2.6.a топологія працює в режимі підвищення під час роботи G2V, тоді як вона працює в режимі підвищення під час роботи V2G. Операція підвищення контролюється перемикачем  $S_1$ , а

операція посилення – перемикачем S2. На рис.2.6.b показано двонаправлений понижуючо-підвищувальний перетворювач, здатний працювати як у режимі G2V, так і в режимі V2G. У режимах G2V і V2G вихідна напруга контролюється перемикачами S1 і S2 відповідно. Подібним чином двонаправлені перетворювачі Cuk–Cuk і Zeta–SEPIC показані на рис. 2.6c–d відповідно.

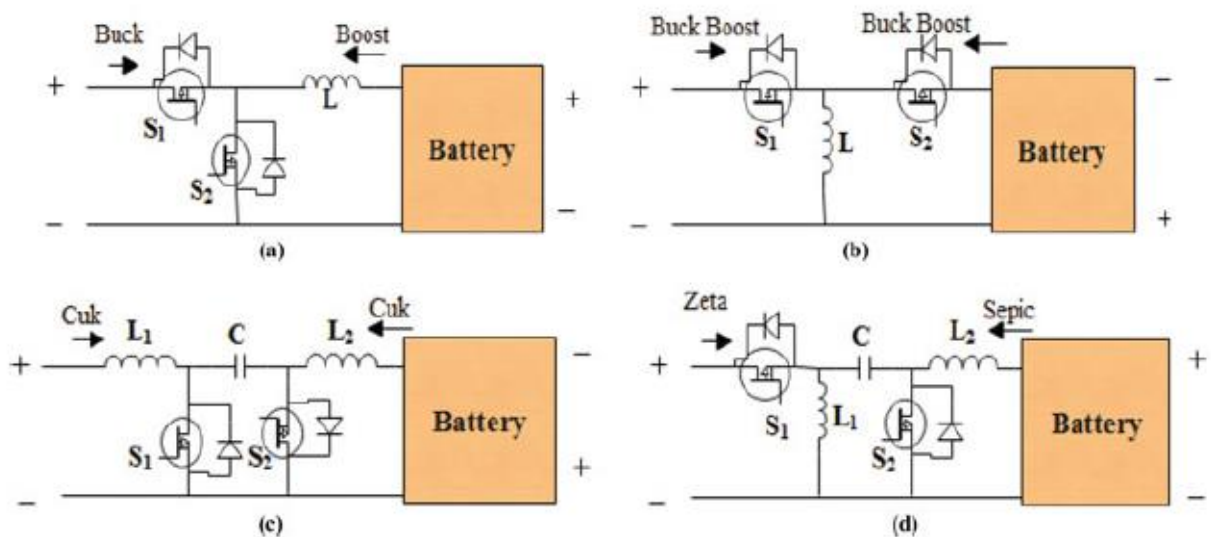


Рисунок 3.5 – Неізовані топології двонаправленого перетворювача постійного струму

Неізовані перетворювачі, розглянуті вище, користуються перевагами меншої кількості компонентів, високої щільності потужності та високої ефективності, але мають недолік, пов'язаний із тим, що навантаження (акумулятор електромобіля) не є електрично ізованим від мережі. З метою забезпечення безпеки користувача обов'язкова електрична ізоляція навантаження (батареї) від електромережі.

Кілька ізованих DC-DC перетворювачів, таких як зворотний перетворювач, прямий перетворювач, напівмостовий перетворювач і повномостовий перетворювач, знаходять широке застосування в системах зарядки акумуляторів.

### 3.4.8 Зворотний перетворювач

Зворотна топологія, як показано на рис. 2.6.а, є простим і недорогим ізолюваним перетворювачем постійного струму з мінімальною кількістю компонентів. Цей перетворювач є похідним від звичайного понижувально-підвищувального перетворювача з індуктивністю, заміненим сполученим індуктивністю (трансформатором). Він використовує один керований перемикач  $S_1$ , високочастотний трансформатор (НФТ) і діод ( $D_o$ ). Перемикач працює на високій частоті перемикання, щоб мінімізувати розмір і вагу зворотного трансформатора. Трансформатор забезпечує електричну ізоляцію між мережею та навантаженням (батареєю). Коли  $S_1$  увімкнено, індуктивність намагнічування трансформатора зберігає енергію, оскільки вихідний діод ( $D_o$ ) має зворотне зміщення. Коли  $S_1$  вимкнено, енергія, що зберігається в індуктивності намагнічування, надходить до навантаження через  $D_o$ .

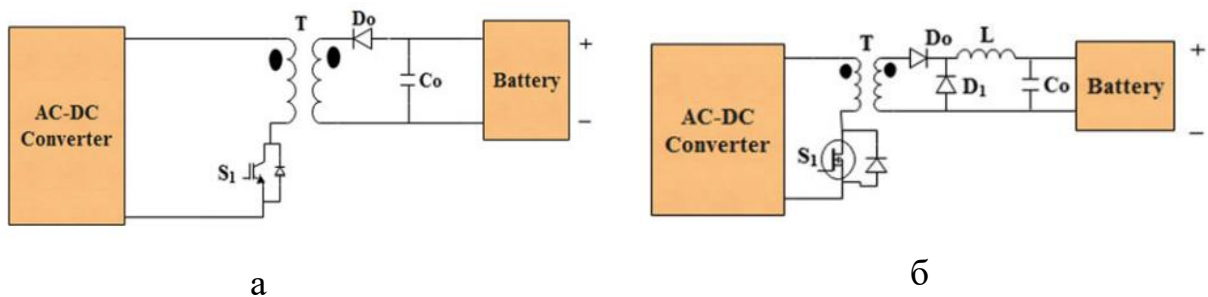


Рисунок 3.6 – Зворотній (а) та прямий (б) ізолювані перетворювачі

Контролюючи коефіцієнт заповнення  $S_1$ , досягається регульована вихідна напруга. Коефіцієнт посилення напруги цього перетворювача залежить від коефіцієнта заповнення та коефіцієнта витків НФТ. Однак зворотні перетворювачі викликають величезні стрибки напруги на комутаторі ( $S_1$ ) через індуктивність витку НФТ. Тому демпферні схеми необхідні для зменшення цього стрибка напруги. Зворотні перетворювачі широко використовуються в програмах з низьким енергоспоживанням.

### 3.4.9 Прямий перетворювач

Топологія прямого перетворювача, як показано на рис. 2.6.б, майже схожа на топологію зворотнього перетворювача з одним додатковим діодом,

підключеним антипаралельно до LC-фільтра. Іншою відмінністю в конфігурації схеми є вихідний діод (Do) прямого перетворювача, підключений у зворотній полярності до зворотного перетворювача. Коли перемикач S1 увімкнено, струм протікає через первинну обмотку НФТ, а потужність передається на навантаження. (акумулятор) через Do. Коли перемикач вимкнено, діод вільного ходу D1 зміщується вперед і починає провідність.

### 3.4.10 Напівмостовий перетворювач (НВС)

Напівмостові та повномостові перетворювачі мають велику потужність, але потребують більшої кількості активних і пасивних компонентів. І напівмостові, і повномостові перетворювачі здатні передавати потужність у будь-якому напрямку. Напівмостовий двонаправлений перетворювач, як показано на рис. 2.7, використовує два напівпровідникові перемикачі (S1, S2) з корпусними діодами та двома конденсаторами (C11 і C12) на первинній стороні НФТ.

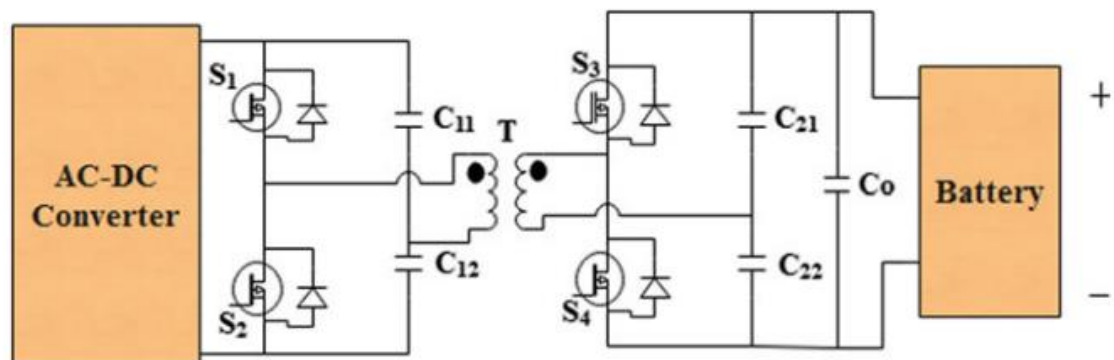


Рисунок 3.7 –Напівмостовий перетворювач

Вторинна сторона також складається з подібних компонентів. Коли S1 знаходиться у включеному стані, половина вхідної напруги подається на первинну обмотку НФТ. Конденсатор (C21) тепер заряджається через корпусний діод S3. Коли S2 знаходиться у включеному стані, напруга зворотної полярності подається на первинну обмотку НФТ, і конденсатор (C22) тепер заряджається через корпусний діод S4. Таким чином, батарея, підключена через послідовну комбінацію C21 і C22, заряджається. У цьому

режимі перемикачі на первинній стороні працюють в режимі інвертора, а діоди вторинної сторони діють як випрямлячі.

Однак, якщо енергія батареї має бути подана назад на вхідну сторону, тоді роль первинного та вторинного ланцюгів змінюється. Тепер перемикачі (S3 і S4) вторинної сторони працюють в режимі інвертора, а корпусні діоди S1 і S2 діють як випрямлячі.

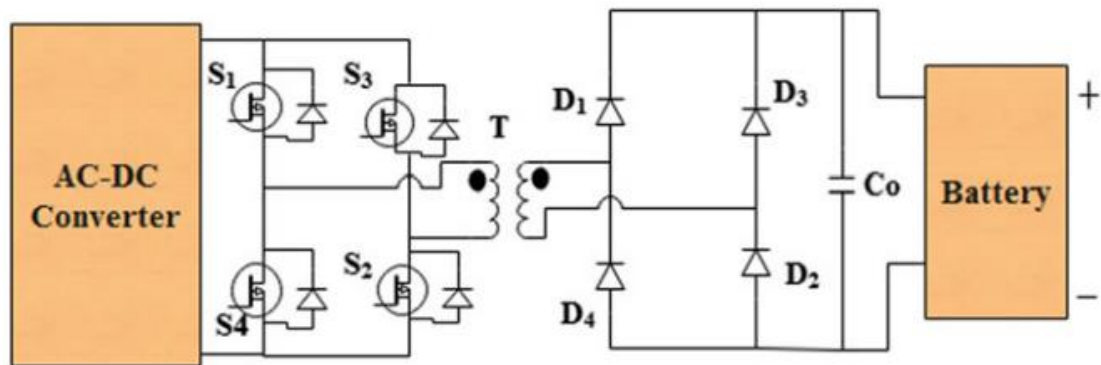


Рисунок 3.8 – Повномостовий перетворювач

#### 3.4.11 Повномостовий перетворювач (FBC)

Робота повного мостового перетворювача, як показано на рис. 10, подібна до роботи напівмостового перетворювача, лише за винятком того, що два діагональних перемикача (S1, S2 або S3, S4) залишаються у включеному стані, щоб забезпечити напругу живлення через первинний НФТ. Вторинна індукована напруга заряджає вихідний конденсатор (Co) через два діоди (D1, D2 або D3, D4). Тут первинні перемикачі працюють в інверторному режимі, а вторинні діоди діють як випрямлячі. Двонаправлений повний мостовий перетворювач, показаний на рис. 11, забезпечує потік потужності від навантаження (батареї) до входу за рахунок роботи вторинних перемикачів у режимі інвертора та первинних діодів як випрямляча.

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Для проведення експериментальних досліджень нами було використано струмові кліщі Hantek CC-650, цифровий осцилограф Hantek 1008C, цифровий мультиметр Sinometer 6104. Процес вимірювань проводився на автомобілі Citroen C-Zero із використанням зарядного пристрою від розетки побутової електромережі.

### 4.1 Вимірювання вхідного струму споживання DC-DC перетворювача

На рис.3.1 наведено осцилограму струму, що протікає в первинному ланцюзі перетворювача при ввімкненні зарядного пристрою електромобіля.

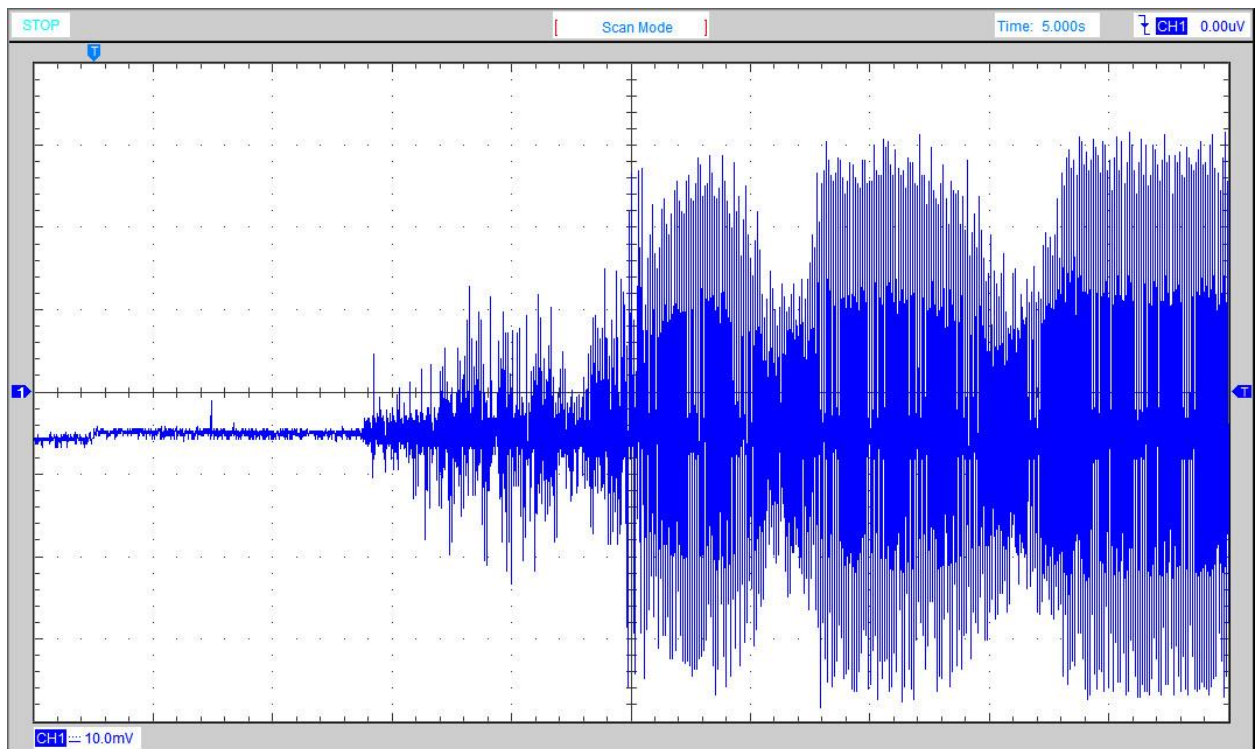


Рисунок 4.1 – Осцилограма струму, що протікає в первинному ланцюзі перетворювача під час початку зарядки

Як видно з осцилограми, під час початку заряджання струм починає зростати поступово, очевидно для запобігання різких коливань струму в електромережі та заряджання самих конденсаторів в блоці перетворювача, оскільки це могло б привести до руйнування самого перетворювача.



На рис.3.2 наведено осцилограму струму, що протікає в первинному ланцюзі перетворювача після 10 хв часу після початку зарядки.

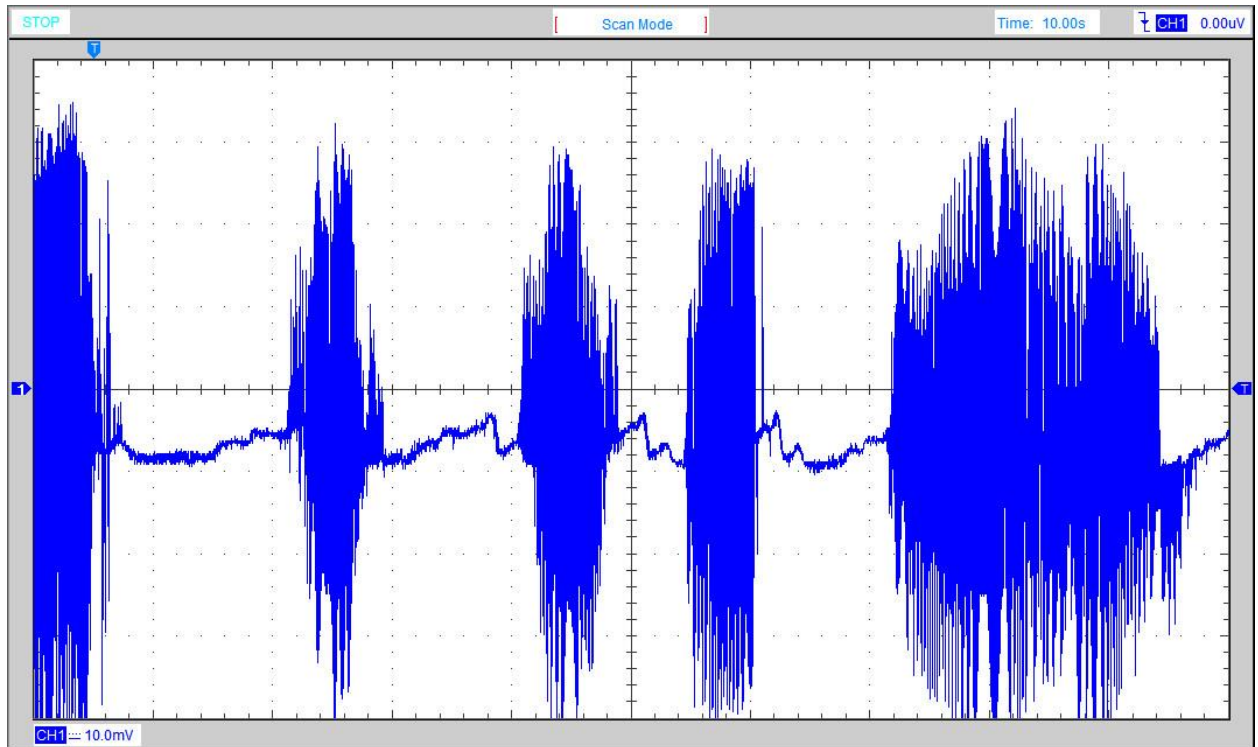


Рисунок 4.2 – Осцилограма струму, що протікає в первинному ланцюзі перетворювача після 10 хв часу після початку зарядки

Як видно з отриманої осцилограми споживання струму із електромережі має вигляд пульсуючої характеристики, при чому не має якоїсь певної повторюваності. При чому струм споживання збільшується до 16А і не має вигляду заряджання акумуляторної батареї постійним струмом.

#### 4.2 Вимірювання струму заряджання акумуляторної батареї

На рис. 3.3 зображено осцилограму зарядного струму акумуляторної батареї на початку режиму зарядки. З осцилограми видно, що на початку зарядки струм зростає поступово до 12А, а згодом набуває пилкоподібної характеристики, із мінімальним струмом заряджання 3А та максимальним струмом заряджання 12А. Очевидно це пов'язано із запитом від блоку керування акумуляторної батареї стосовно балансування елементів та її температурного режиму.

На рис. 3.4 наведено осцилограму протікання зарядного струму акумуляторної батареї після 10 хв часу після початку зарядки.

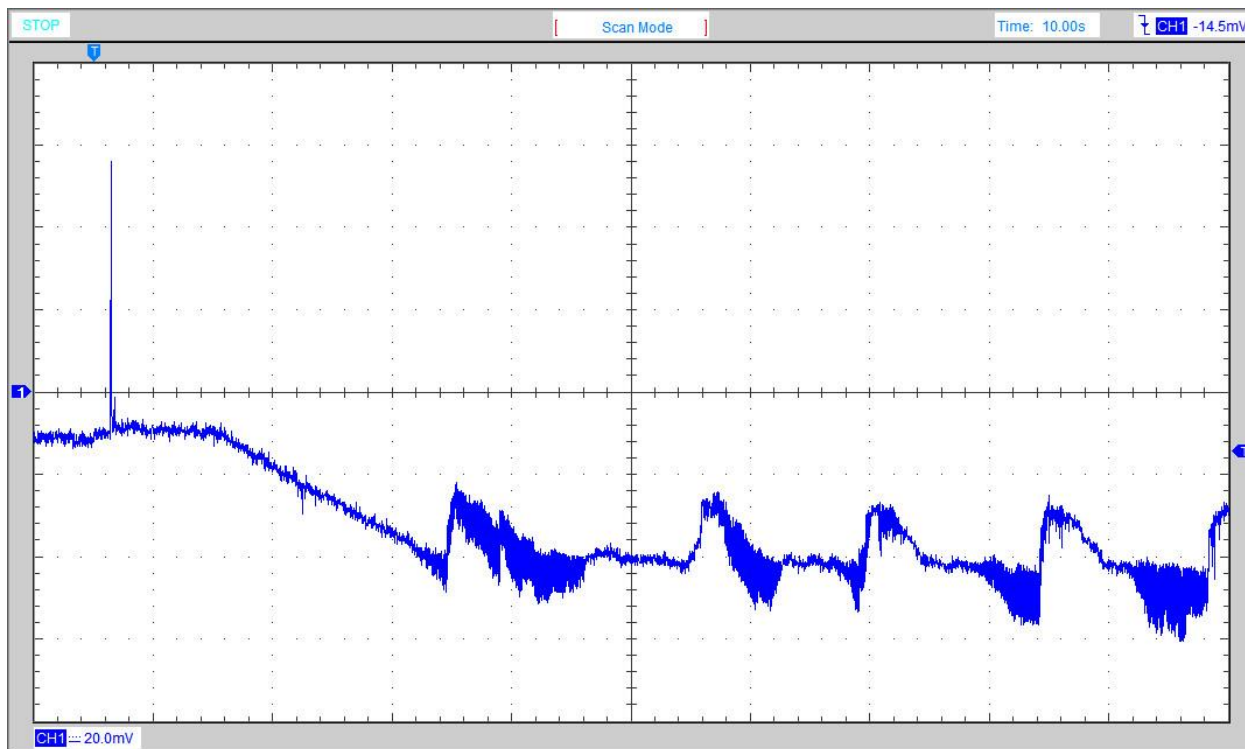


Рисунок 4.3 – Осцилограма зарядного струму акумуляторної батареї на початку режиму зарядки

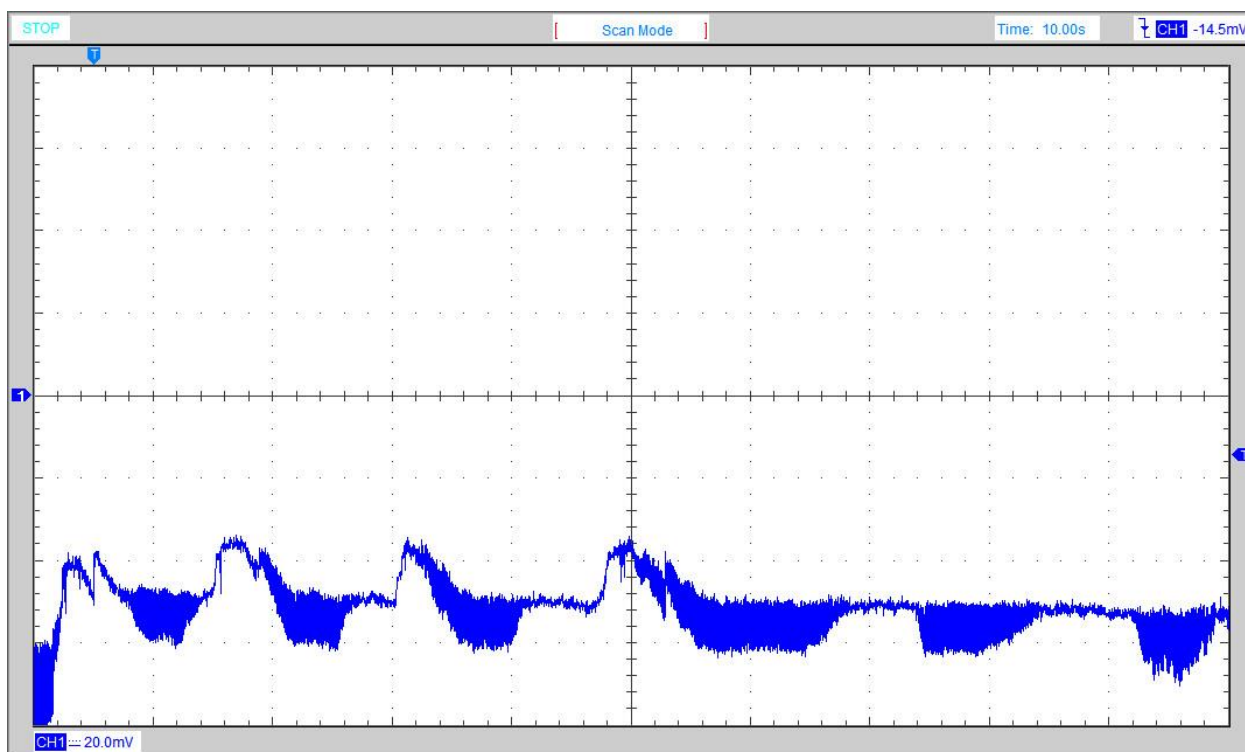


Рисунок 4.4 – Осцилограма зарядного струму акумуляторної батареї після 10 хв часу від початку зарядки

В даному випадку можемо бачити, що характер протікання струму має тенденцію до встановлення режиму заряджання акумуляторної батареї

постійним струмом 12 А. Тут, мабуть, втручається в цей процес блок керування акумуляторною батареєю, передаючи інформацію стосовно можливості сприймання зарядного струму самою батареєю, оскільки всі електронні блоки керування з'єднані мережею передачі даних CAN.

### 4.3 Вимірювання напруги на котушках індуктивності DC-DC перетворювача

На рис.3.5 зображено осцилограму напруги на вхідній індуктивності DC-DC перетворювача. Як бачимо, частота перетворювача на вхідній стороні 444,44 Гц, амплітуда напруги становить 250 В. Вхідний ланцюг

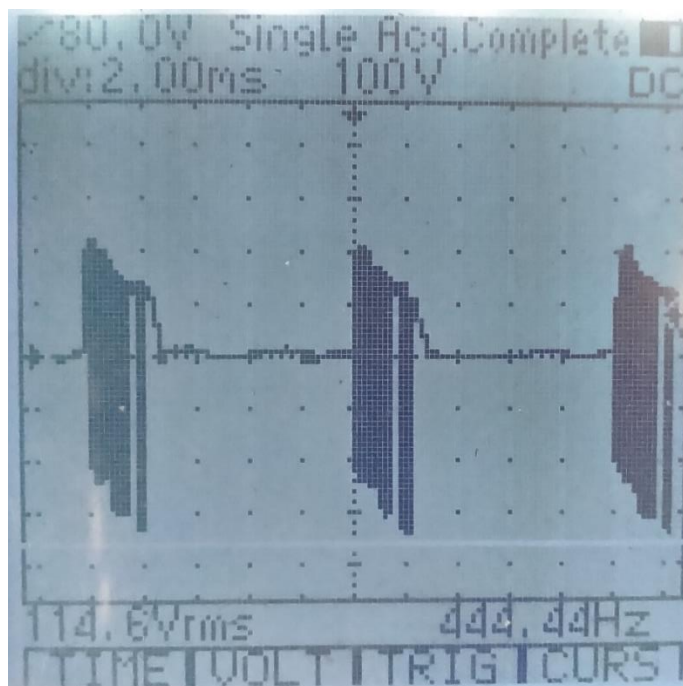


Рисунок 4.5 – Осцилограма напруги на вхідній котушці індуктивності.

Якщо зняти осцилограму протікання напруги на вихідній ланці індуктивності, то отримаємо результат, що відтворений на рис.3.6.

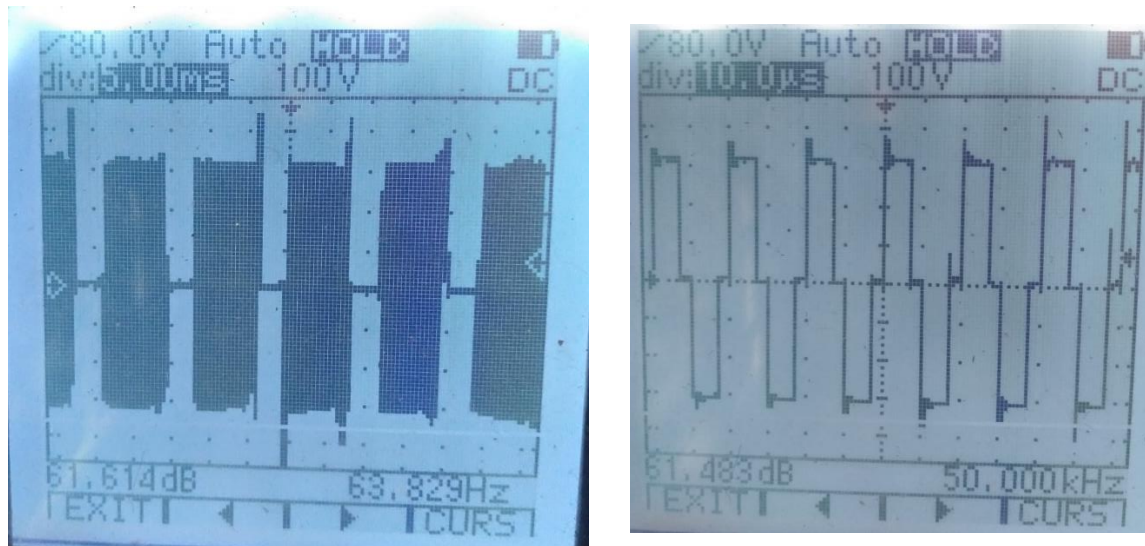


Рисунок 4.6 – Напряга на вихідній котушці індуктивності.

Бачимо досить цікавий тип сигналу, оскільки сигнал складається із двох сигналів, один із несучою частотою 63,829 Гц(рис.3.6.а) та 50 кГц(рис.3.6.б), амплітуда сигналу 420 В.

Провівши експериментальні дослідження, можна стверджувати, що процес заряджання акумуляторної батареї електромобіля є досить складним, при чому тут враховується велика кількість факторів, а отже для більш детального дослідження принципу роботи DC-DC перетворювача слід також враховувати велику кількість інших факторів, таких як зовнішня температура, температура акумуляторів, баланс комірок в батареї та ступінь її заряду.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Структурно-функціональний аналіз робіт та моделювання травмонебезпечних ситуацій

Процеси формування та виникнення аварій, а також виробничих травм є випадковими подіями (явищами), що утворюють конкретну аварійну або травмонебезпечну ситуацію і пов'язані між собою причинно-наслідковими зв'язками. В них є початкові, проміжні та кінцеві події. Усі початкові події (небезпечні умови, небезпечні дії) слід виявляти у процесі обстеження об'єктів виробництва, а проміжні та кінцеві на основі логічного аналізу можливих варіантів перебігу подій.

Поняття «початкові події» введено умовно, бо насправді цим подіям можуть передувати інші. Але вони першими помічаються при обстеженні робочих місць та інших об'єктів виробництва. Якщо на схемах, що зображують процеси перебігу випадкових подій, починаючи з початкових і закінчуючи кінцевими, показати причинно-наслідкові зв'язки, то ми одержимо логічні моделі процесів, що вивчаються.

Логічна модель процесу формування та виникнення небезпечної або аварійної ситуації (табл. 4.1) складається з певної кількості випадкових подій, які між собою можуть бути статистичне залежними або незалежними. Статистичне залежні події – це такі, коли поява наступної події неможлива без виникнення попередньої. Якщо кожна з двох подій, що входять до однієї моделі, можуть з'являтися незалежно одна від одної, то такі події є статистичне незалежними. Як правило, у таких моделях незалежні випадкові події одна відносно одної розміщуються паралельно, а залежні - послідовно.

Причинно-наслідкові зв'язки зображені стрілками, які, крім того, ще показують напрямок протікання (перебігу) подій. Шляхом дослідження небезпечних ситуацій, які можуть виникати при експлуатації виробничого обладнання в галузях автомобільного господарства, описані і побудовані логічні моделі різні за формою і характером подій. [22]

Таблиця 5.1  
 Моделювання травмонебезпечних і аварійних ситуацій

Вид робіт	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезпечній ситуації
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
Монтаж-демонтаж DC-DC перетворювача	Монтаж DC-DC перетворювача на автомобіль здійснюється вручну НУ	Можливе випадкове увімкнення напруги НД <sub>1</sub> Можливе падіння DC-DC перетворювача НД <sub>2</sub>	Можливе падіння DC-DC перетворювача на працівника, взаємодія струму із органами працівника	Травма, аварія	Автомобіль повинен бути знеструмлений перед монтажем, користуватись спеціальним одягом
<p>НУ → НД<sub>1</sub> → НС → Т          ↑          НД<sub>2</sub></p> <p>Модель процесу</p>					
Виконання розбирально-складальних операцій	Неналежний технічний стан інструменту НУ	Зривання ключа з граней кріпильних елементів НД	Удар кистю руки об елементи стенду НС	Травма	Використання справного інструменту
<p>НУ → НД → НС → Т</p> <p>Модель процесу</p>					

Це дало можливість перейти до побудови більш складних моделей аварій, травм і катастроф, які потрібні для встановлення причин виникнення потенційних небезпек, без чого неможливо вжити обґрунтованих профілактичних заходів.

Метод логічного моделювання потенційних аварій, травм і катастроф відкриває можливість розробити досконалу систему управління безпекою життєдіяльності виробництва, яка базується на оперативному пошуку виробничих небезпек, їх глибокому логічному (при необхідності і математичному) аналізі й терміновому прийнятті заходів для усунення потенційних небезпек, ще до виникнення травмонебезпечних та

катастрофічних ситуацій. Процес пошуку потенційних небезпек на виробництві ґрунтується на більш точному і ефективному проведенні існуючого оперативного контролю, який також повинен бути відповідно удосконалений [23, 22].

Аналізуючи кожну з побудованих логічних моделей процесів формування та можливого виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій, завжди можна знайти подію, з якої починається небезпечний процес і до виникнення небезпечних наслідків (табл. 4.1). Якщо дослідження логічних зв'язків провести у зворотному напрямку, то обов'язково можна знайти ту подію (явище), що є причиною (однієї з причин) формування досліджуваного процесу. Метод логічного моделювання травмонебезпечних аварійних та інших ситуацій значно полегшує пошук причин аварій, виробничих травм і дорожньо-транспортних пригод при їх розслідуванні.

## **5.2 Заходи з охорони праці під час виконання технологічної операції**

Профілактичне обслуговування та ремонт транспортних засобів необхідно виконувати згідно з Положенням про профілактичне обслуговування та ремонт рухомого складу автомобільного транспорту, Правилами технічної експлуатації рухомого складу автомобільного транспорту.

Профілактичне обслуговування та ремонт транспортних засобів проводяться на спеціально відведених ділянках, робочих місцях (постах), які оснащені необхідним устаткуванням, пристроями, інструментом, приладами згідно з нормативно-технологічною документацією.

Розташування постів профілактичного обслуговування та ремонту, відстань між автомобілями, що установлені на цих постах, а також між автомобілями і конструкціями будівель повинні відповідати нормам технологічного проектування.

Установлювати автомобілі в кількості, що перевищує норму, порушувати спосіб розстановки, зменшувати відстань між транспортними засобами і елементами будівель забороняється.

Виробниче устаткування і робочі місця слід розташовувати з урахуванням безпеки працюючих, зручності при виконанні технологічних операцій згідно з нормами технологічного проектування підприємств автомобільного транспорту ОНТП 01-91.

Робітники, які проводять обслуговування та ремонт транспортних засобів, агрегатів, вузлів та деталей, повинні мати справні інструменти та пристрої, що відповідають вимогам безпеки.

Перед початком роботи слід перевірити весь інструмент, несправний інструмент необхідно замінити.

Під час роботи устаткування не допускається його чищення, змазування або ремонт.

Пристрої та інструменти, необхідні для виконання робіт, повинні використовуватись за призначенням, їх слід розміщувати у легкодоступних місцях таким чином, щоб виключалась можливість випадкового переміщення або падіння.

Для зняття, установлення, а в окремих випадках транспортування деталей, вузлів, агрегатів вагою більше 20 кг необхідно використовувати підйомно-транспортні механізми, які обладнані спеціальними пристроями (захватами).

Під час проведення робіт на постах обслуговування та ремонту, діагностики автомобілів з працюючим двигуном повинні застосовуватись пристрої для відведення відпрацьованих газів.

Забороняється у виробничих приміщеннях, де знаходяться автомобілі, у баках та балонах яких є паливо, зберігаються або використовуються горючі та легкозаймисті матеріали і рідини (бензин, гас, стиснутий і зріджений горючий газ, фарби, розчинники, стружка, вата тощо), користуватися відкритим вогнем.



Відходи виробництва, відпрацьовані матеріали тощо повинні після кожної роботи прибиратися з робочого місця. Пролиті легкозаймисті та горючі матеріали повинні бути негайно видалені.

Прибирати робочі місця від пилу, ошурків, стружки, дозволяється тільки щіткою. Забороняється здувати їх стиснутим повітрям.

Пуск двигуна та зрушення автомобіля з місця, його в'їзд і виїзд з виробничих приміщень слід проводити за умови забезпечення безпеки працюючих.

Забороняється знаходження сторонніх людей на робочих місцях, де відбуваються роботи з підвищеною небезпекою.

Особи, зайняті на роботах з профілактичного обслуговування та ремонту транспортних засобів, повинні використовувати засоби індивідуального захисту. Особи, які проводять перевірку технічного стану, обслуговування та ремонт транспортних засобів на оглядових канавах, підйомниках та естакадах, повинні працювати у захисних касках.

### **5.3 Виробнича санітарія**

Метеорологічні умови (мікроклімат) виробничих приміщень визначається діючими на організм людини сукупністю температури, вологості та швидкості руху повітря, а також температури оточуючих поверхонь. В приміщенні зони діагностики метеорологічні умови залежать від технологічного процесу та від зовнішніх погодних умов. Нормальні метеорологічні умови в приміщенні дільниці забезпечуються раціональною вентиляцією і опаленням на рівні допустимих значень температури повітря, відносної вологості та швидкості руху повітря, (див. табл.4.1).

Інтенсивність теплового випромінювання не повинна перевищувати  $100 \text{ Вт/м}^2$  при опромінюванні до 25% поверхні тіла.

Таблиця 5.2 – Нормативні параметри мікроклімату в зоні діагностики

Категорія робіт	Період року	Температура, °С			Відносна вологість, %;		Швидкість руху, м/с	
		Оптим.	Допустима на постійних робочих місяцях		Оптим.	Допустима на постійних робочих місяцях	Оптим.	Допустима на постійних робочих місяцях
			Верхня межа	Нижня межа				
Середньої важкості II б	холодний	15-18	21	15	55-70	75	0,1-0,3	не більше 0,4
	теплий	20-25	27	16	50-65	примітка 1	0,2-0,4	0,2-0,5

#### 5.4 Вентиляція приміщення

Викиди в атмосферу із системи вентиляції розташовані на відстані від приймальних пристроїв для зовнішнього повітря більше 10 м. по горизонталі, викиди із системи місцевого відсмоктування розташоване на висоті більше 2 м. над найвищою точкою[22].

Визначимо об'єм повітря який подається системою загально-обмінної вентиляції за формулою:

$$L_n = K_{\text{пр}} \cdot V_{\text{п}}, [\text{м}^3/\text{год}]; \quad (4.1)$$

де  $K_{\text{пр}}$  – коефіцієнт повітрообміну, приймаємо  $K_{\text{пр}} = 4$  год.

$V_{\text{п}}$  – об'єм приміщення,  $V_{\text{п}} = 540 \text{ м}^3$ .

$$L_n = 4 \cdot 540 = 2160 (\text{м}^3/\text{год}).$$

Загальний об'єм повітря, який подається в зону діагностики:

$$L = L_k + L_n [\text{м}^3/\text{год}]; \quad (4.2)$$

$$L = 1713,6 + 2160 = 3873,6 (\text{м}^3/\text{год}).$$

Продуктивність вентилятора визначаємо за формулою:

$$L_B = (1,05 - 1,1) \cdot L, [\text{м}^3/\text{год}]; \quad (4.3)$$

$$L_B = (1,07 - 3873,6) = 4145, (\text{м}^3/\text{год}).$$

Приймаємо опір в мережі подачі повітря  $P_M = 35 \text{ кгс}/\text{м}^2$ .

Приймаємо радіальний вентилятор типу Ц4 – 70 №5 з колесом 1,05  $D_{\text{ном}}$ , який при  $L_B = 4145 \text{ м}^3/\text{год}$  і  $P_M = 35 \text{ кгс/м}^2$  має ККД рівний 0,805, частота обертів ротора 930 об/хв.

Приймаємо, що вентилятор приводить в рух електродвигун через клинопасову передачу.

Потужність двигуна, яка потребується:

$$N_{\text{дв}} = \frac{L \cdot P_M}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_B \cdot \eta_{\text{пер}}}, [\text{кВт}]; \quad (4.4)$$

Де  $\eta_B$  – ККД вентилятора,  $\eta_B = 0,805$ ;

$\eta_{\text{пер}}$  - ККД передачі,  $\eta_{\text{пер}} = 0,95$ ;

$$N_{\text{дв}} = \frac{4145 \cdot 35}{3600 \cdot 102 \cdot 0,805 \cdot 0,95} = 0,52, (\text{кВт}).$$

Установча потужність двигуна з урахуванням коефіцієнта запасу визначається за формулою:

$$N_{\text{дв.у}} = K_3 \cdot N_{\text{дв}}, [\text{кВт}]; \quad (4.5)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт запасу, для даного типу двигунів,  $K_3 = 1,2$ ;

$$N_{\text{дв.у}} = 1,1 \cdot 0,52 = 0,62, (\text{кВт}).$$

Приймаємо електродвигун асинхронний серії 4А закритого виробництва 4А90ЛА, який має потужність 0,75 кВт при синхронній частоті обертання 750 об./хв.

В мережу вентиляції необхідно встановити:

- 1) фільтр для очистки подаваного повітря;
- 2) калорифер для обігріву подаваного повітря в холодну пору року.

## 6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

*Економічна ефективність* показує правильність прийнятих економічних вирішень відносно способу використання трудових, грошових та матеріальних ресурсів. Вона вираховується згідно типової методики, в котрій визначено методи стосовно проведення розрахунку та обґрунтування капітальних вкладень, що стосуються галузей організації та механізації робіт щодо проведення ремонту та обслуговування автомобілів [24].

Розрахувати економічну ефективність нашої дипломної роботи можна внаслідок впровадження запропонованих нами методів проведення діагностики на сервісному підприємстві, що займається поточним ремонтом та проведенням ТО автомобілів. Проведемо наші економічні розрахунки для пункту ПР та ТО системи живлення дизельних двигунів із безпосереднім впорскуванням при побудові окремої станції техобслуговування та використанні в якості робочої сили двох сервісних працівників.

### 6.1 Визначення затрат на оплату праці робітників

Основна оплата праці рахується слідуючим чином.

$$З_{\text{осн}} = T_{\text{рм}} * C_{\text{гр}} * K_{\text{днч}}, \text{ грн.}$$

де,  $T_{\text{рм}}$  – загальна трудомісткість станції,

$$T_{\text{рм}} = 4900 \text{ люд.год.};$$

$C_{\text{гр}}$  – середньогодинна тарифна ставка робітника,  $C_{\text{гр}} = 55 \text{ грн./год.};$

$K_{\text{днч}}$  – коефіцієнт доплат за неурочний час,  $K_{\text{днч}} = 1,04;$

$$З_{\text{осн}} = 4900 * 55 * 1,04 = 280280 \text{ грн.}$$

Додаткова оплата праці .

Додаткова оплата праці  $З_{\text{дод}}$  беремо в розмірі 12 % від основної оплати праці:

$$З_{\text{дод}} = 0,12 * З_{\text{осн}} = 0,12 * 280280 = 33634 \text{ грн.}$$

Нарахування на оплату праці сервісного працівника становить 36,5% від суми основної та додаткової оплати праці .

$$З_{\text{нар}} = 0,365 * (280280 + 33634) = 114568 \text{ грн.}$$

Приймаємо, що час для проведення повної діагностики одного авто становить приблизно 4... 6 люд.-год., тоді кількість обслуговувань автомобілів на рік становитиме 690 авто/рік.

Вартість запасних частин, які використовують на один процес загальної діагностики електромобіля на 1 одиницю становить 200 грн.

Сума усіх запасних частин на рік становитиме:

$$С_{\text{зпч.}} = 690 * 200 = 138000 \text{ грн.}$$

Ціна витратних матеріалів, для проведення однієї процедури ремонту та діагностики чи ремонту, становить 200 грн., тобто за рік буде становити:

$$С_{\text{м}} = 690 * 200 = 138000 \text{ грн.}$$

Уся заробітна плата працівнику сервісної станції:

$$З_{\text{зг}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{дод}} + З_{\text{нар}} = 280280 + 33634 + 114568 = 428482 \text{ грн. ;}$$

Загальна сума прямих витрат за рік складатиме :

$$С_{\text{пв.}} = 138000 + 138000 = 276000 \text{ грн.}$$

Накладні затрати  $С_{\text{н.в}} = С_{\text{з.в}} + С_{\text{з.г}} + С_{\text{п.в}}$ .

де,  $С_{\text{з.в}}$  – загально-виробничі витрати, грн.;

$С_{\text{з.г}}$  – загально-господарські затрати, грн.;

$С_{\text{п.в}}$  – позавиробничі затрати, грн.;

Загально-виробничі затрати визначаємо згідно формули:

$$С_{\text{зв}} = З_{\text{птп, моп}} + С_{\text{д.м}} + С_{\text{за}} + С_{\text{зпр}} + С_{\text{зуст}} + С_{\text{зел}} + С_{\text{пар}} + С_{\text{поб}} + С_{\text{оп}} + С_{\text{ох.п}} + С_{\text{рац}} + С_{\text{п-т}} + С_{\text{рем}} ;$$

$З_{\text{птп, моп}}$  – річна оплата праці, грн.

На ділянці у нас працюють два сервісних механіки, отже середньорічні затрати на заробітню плату становитимуть :

$$З_{\text{птп, моп}} = 374000,4 \text{ грн. ;}$$

$С_{\text{д.м}}$  – затрати на додаткові матеріали беруться в розмірі 11% від вартості основних матеріалів з прямих витрат по формулі

$$С_{\text{д.м}} = 0,11 * С_{\text{м}} = 0,11 * 147800 = 14780 \text{ грн. ,}$$

$C_{ЗА}$  – річна сума відрахувань на амортизацію, що вираховується виходячи з річних норм відрахувань на амортизацію та балансової ціни основних фондів.

Амортизація може нараховуватись лише тільки для повного відновлення основних фондів.

## 6.2 Визначення вартості основних фондів

Розрахунок об'єму будівлі :

$$V_B = F * h = 90 * 4,2 = 378 \text{ м}^3 ,$$

де,  $F$  – площа будівлі сервісу,  $\text{м}^2$  ;

$h$  – висота будівлі сервісу, м.

Ціна будівлі :

для нашого випадку становитиме:

$$V_{Зб.с} = 1200 * V_B = 378 * 1200 = 453600 \text{ грн.}$$

Ціна обладнання для сервісу розраховується в залежності від ціни будівель , та приймається на рівні 0,7 від ціни будівлі .

$$V_{Зобл} = 0,7 * V_{Зб.с} = 0,7 * 453600 = 317520 \text{ грн.}$$

Сумарна ціна основних виробничих фондів :

$$\Phi_{Цосн} = (V_{Зобл} + V_{Зб.с}) * K_{Кінш} * K_{Кінд}$$

де ,  $K_{Кінш}$  – коефіцієнт , що враховує інші основні фонди ,  $K_{Кінш} = 1,21$  ,

$K_{Кінд} = 1,12$  – коефіцієнт, що враховує рівень індексації зростання у будівництві .

$$\Phi_{Цосн} = (453600 + 317520) * 1,21 * 1,12 = 1045021 \text{ грн.}$$

$C_{ЗПР}$ ,  $C_{ЗУСТ}$  – затрати щодо утримання та проведення ремонту будівлі за рік беремо 13% від балансової вартості основних фондів :

$$C_{ЗПР} + C_{ЗУСТ} = 0,13 * 1045021 = 135852 \text{ грн.}$$

$C_{ЗЕЛ}$  – затрати по електроенергії

## Амортизаційні відрахування

Група основних фондів	Балансова вартість	Процент %	Річна сума амортизаційних відрахувань
I Будівлі і споруди	453600	6	27216
II Транспортні засоби	0	25	0
III Інші основні фонди та обладнання	1045021	15	156753,15
Всього :	1498621	-	183969,15

Загальногосподарські затрати :

$$C_{зг} = (0,4 \dots 0,6) \cdot Z_{зар} = 0,55 \cdot 158634,8 = 79816,4 \text{ грн.},$$

Позавиробничі затрати :

$$C_{пв} = (0,05 \dots 0,1) \cdot Z_{зар} = 0,08 \cdot 158634,8 = 13622,61 \text{ грн.}$$

Загальна сума накладних витрат в проектному періоді складе :

$$C_{знв} = 463986 + 86817,4 + 11522,61 = 502326,01 \text{ грн.}$$

Повна собівартість всіх робіт по ремонту :

$$C_{пов} = C_{пов} + C_{знв} = 365150 + 492326,01 = 847475,01 \text{ грн.}$$

а) Затрати електроенергії на силові потреби

- електроенергія для технологічних потреб :

$$P_{ссил} = N_{обл} \cdot \Phi_{р} \cdot K_{з} \cdot K_{звтр} ;$$

де ,  $N_{обл}$  – встановлена потужність обладнання ,  $N_{обл} = 4 \text{ кВт}$  ,

$K_{звтр}$  – коефіцієнт , що враховує втрати у мережі ,  $K_{звтр} = 1,05$ ,

$K_{з}$  – коефіцієнт завантаження ,  $K_{з} = 0,9$  ,

$\Phi_{р}$  – річний фонд робочого часу ,  $\Phi_{р} = 2080 \text{ год}$ ,

$$P_{ссил} = 4 \cdot 2080 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 4936,76 \text{ кВт/год.}$$

б) затрати електроенергії для освітлення робочого місця:

$$P_{сосв} = N_{собр} \cdot \Phi_{зр} \cdot K_{звдк}$$

де ,  $\Phi_{зр}$  – річний фонд роботи , (при однозмінній роботі 600-800год.)

$N_{обр}$  – зальна потужність освітлення ,

$K_{\text{ВІДК}}$  – коефіцієнт відключень ,  $K_{\text{ВІДК}} = 0,85$ ;

$$P_{\text{СОСВ}} = N_{\text{обл}} * 600 * 0,85 = 0,35 * 800 * 0,85 = 248 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

$$N_{\text{обл}} = 10 * 40 + 5 * 10 = 450 \text{ Вт.}$$

Повна сума споживаної електроенергії становитиме :

$$C_{\text{ЕЛ}} = (P_{\text{СИЛ}} + P_{\text{СОСВ}}) \cdot C_{\text{е}} ,$$

де ,  $C_{\text{е}}$  – ціна за 1 кВт·год = 6,50 грн.

$$C_{\text{ЕЛ}} = ( 5435,86 + 248 ) * 6,50 = 25577,37 \text{ грн.},$$

$C_{\text{ПАР}}$  – затрати на використання технологічного пару та води, стиснене повітря , становлять 1,81 грн. на ремонтну одиницю, отже при кількості  $N = 690$  шт.

$$C_{\text{ПАР}} = 690 * 1,81 = 1248,9 \text{ грн.}$$

$C_{\text{ПОБ}}$  – затрати на побутові потреби, що становлять 534,6 грн. на одного сервісного працівника на рік :

$$C_{\text{ПОБ}} = 534,6 * 2 = 1069,2 \text{ грн.}$$

$C_{\text{ОП}}$  – затрати на опалення – становлять 3,98 грн. на 1 м<sup>3</sup> об'єму споруди,

$$C_{\text{ОП}} = 3,98 * 378 = 1504,44 \text{ грн.}$$

$C_{\text{ОХ.ПР}}$  – затрати на охорону праці , становлять 50 – 65 грн. на одного робітника .

$$C_{\text{ОХ.ПР}} = 2 * 65 = 130 \text{ грн.}$$

$C_{\text{РАЦ}}$  – затрати на раціоналізацію становлять від 15 до 40 грн. на одного робітничого.

$$C_{\text{РАЦ}} = 2 * 30 = 60 \text{ грн. ;}$$

$C_{\text{РЕМ}}$  – інші затрати , що становлять 3% від усіх попередніх статей.

Визначаємо загальну суму загальновиробничих витрат :

$$C_{\text{ЗВ}} = (Z_{\text{ПІП, МОП}} + C_{\text{Д.М}} + C_{\text{ЗА}} + C_{\text{ЗПР}} + C_{\text{ЗУСТ}} + C_{\text{ЕЛ}} + C_{\text{ПАР}} + C_{\text{ПОБ}} + C_{\text{ОП}} + C_{\text{ОХ.П}} + C_{\text{РАЦ}} + C_{\text{П-Т}}) * C_{\text{РЕМ}}$$

$$C_{\text{ЗВ}} = (174000,4 + 14780 + 135852 + 144405,3 + 25577,37 + 1809,2 + 1248,9 + 1069,2 + 1504,44 + 130 + 60 + 20) * 1,03 = 515470,51 \text{ грн.}$$

Собівартість одиниці ремонту по затратах становитиме:



$$S_{од.ф.} = \frac{C_{ПОВ}}{N} = \frac{847475,01}{690} = 1228,22 \text{ грн.}$$

Собівартість одиниці ремонту згідно відпускних цін :

$$S_{од.відп.} = \frac{C_{ВП}}{N} = \frac{1145687,2}{690} = 1710,13 \text{ грн.}$$

де ,  $C_{ЗВП}$  – ціна всієї продукції , розрахована вище.

### 6.3 Визначення прибутку

Прибуток знаходиться , як різницю між вартістю готової продукції та її собівартістю згідно такої формули:

$$ПРо = C_{ЗВП} - C_{ЗПОВ}$$

$$ПРо = 1145687,2 - 847475,01 = 298212,19 \text{ грн.},$$

Рівень рентабельності випускної продукції рахується як відношення прибутку до собівартості продукції, виражене у відсотках.

$$P = \frac{ПРо}{C_{ПОВ}} = \frac{298212,19}{847475,01} \cdot 100\% = 35,19\%$$

Коефіцієнт використання виробничих площ :

$$К_{КП} = C_{ЗВП} / P_{длльн} = 1185688,2/90 = 13174,51 \text{ грн/м}^2 ;$$

Коефіцієнт фондівдачі :

$$К_{\phi} = C_{ВП} / K_{ЗАГ} = 1185688,2/912600 = 1,3 \text{ грн/грн}$$

Коефіцієнт загальної економічної ефективності :

$$E_{К ЗАГ} = (C_{ЗВП} - C_{ЗПОВ}) / K_{З ЗАГ} = 0,351$$

Умова  $E_{К ЗАГ} \geq 0,15$  виконується .

Термін окупності капіталовкладень :

$$T_{ЗАГ} = K_{ЗАГ} / ПР = 3,22 \leq 6...7 \text{ років .}$$

Усі основні показники вносимо в табл. 5.2.

## Основні показники економічних розрахунків

№	Показники роботи	Умовне позначення	Одиниці вимірювання	Числове значення
1	Загальні вкладення капіталу	Ккзаг	грн.	1480480
2	Загальна трудоемність	Т <sub>Прм</sub>	люд.-год.	4900
3	Вартість продукції	СзВП	грн.	1145687,2
4	Кількість обслуговувань	N	шт./рік	690
5	Собівартість всіх виконаних ремонтних робіт	Сз <sub>Пов</sub>	грн.	847475,01
6	Вартість одиниці ремонту : а) фактична б) відпускна ціна	S <sub>Зод.ф</sub>	грн.	1228,22
		S <sub>Зод.відп</sub>	грн.	1710,13
7	Середня річна оплата праці працівника	Сз <sub>сер</sub>	грн.	114568
8	Прибуток	ПРз	грн.	298212,19
9	Рівень рентабельності коштів	Рр	%	35,19
10	Продуктивність праці працівників	ПП	грн.	587845,6
11	Коефіцієнт використання площ	Ккп	грн./м <sup>2</sup>	13174,51
12	Коефіцієнт фондівдачі	Ккф	грн./грн.	1,3
13	Термін окупності	Т <sub>ЗАГ</sub>	роки	3,22

Отже, в даному розділі нами проведено розрахунок економічної ефективності підприємства, на якому працюють два працівники при проведенні діагностики та ремонту електромобілів.

## ВИСНОВКИ

1. Розглянуто типи електромобілів та проведено аналіз компонентів, що використовуються в електромобілях.
2. Описано особливості заряджання акумуляторної батареї електромобіля та типи зарядних пристроїв. Розглянуто різні типи перетворювачів змінного та постійного струму, які використовуються в електромобілях.
3. Проведено вимірювання вхідного та вихідного струмів DC-DC перетворювача. Із отриманих результатів можна стверджувати, що процес заряджання акумуляторної батареї носить складний характер при чому враховується велика кількість факторів, зокрема на процес заряду впливає блок керування акумуляторної батареї.
4. Наведено осцилограми напруги на вхідній та вихідній котушках індуктивності DC-DC перетворювача, при чому частота перетворення високої напруги становить 50 кГц, а амплітуда – 420 В.
5. Для більш детальних досліджень потрібно використовувати більш потужне діагностичне обладнання та збільшити час проведення експерименту.
6. У роботі наведено інструкції з техніки безпеки при проведенні ремонту електромобіля. Пораховано параметри вентиляційної установки для приміщення.
7. Було здійснено розрахунок економічної вигоди при впровадженні запропонованої розширеної діагностики у будівлю для діагностики та поточного ремонту електромобілів. Термін окупності проекту становить 3,22 роки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Reif K. Fundamentals of Automotive and Engine Technology: Standard Drives, Hybrid Drives, Brakes, Safety Systems. Springer, 2014. 277 pp.
2. Ткачук В.І. Електромеханотроніка./ Львів: Видавництво НУЛП, 2006. 440 с.
3. Robert Bosch GmbH. Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics. 3rd ed. / Plochingen: Springer, 2007. 530 pp.
4. Bosch. Automotive Mechatronics. Automotive Networking, Driving Stability Systems, Electronics. Springer Vieweg, 2015. 538 pp.
5. J.Y. Yong, V.K. Ramachandaramurthy, K.M. Tan, N. Mithulananthan, A review on the state-of-the-art Technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. *Renew. Sustain. Energy. Rev.* 49, 365–385 (2015)
6. C.C. Chan, The state of the art of electric and hybrid vehicles. *Proc. IEEE* 90, 247–275 (2002)
7. O.M.F. Camacho, P.B. Nørgård, N. Rao, L. Mihet-Popa, Electrical vehicle batteries testing in a distribution network using sustainable energy. *IEEE Trans. Smart Grid.* 5, 1033–1042 (2014)
8. Khaligh, Z. Li, Battery, ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, fuel cell, and plug-in hybrid electric vehicles: State of the art. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 59, 2806–2814 (2010)
9. H.J. Chiu, L.W. Lin, A bidirectional DC–DC converter for fuel cell electric vehicle driving system. *IEEE Trans. Power Electron.* 21, 950–958 (2006)
10. Y. Gao, M. Ehsani, J.M. Mille, Hybrid electric vehicle: overview and state of the art, in *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Dubrovnik, Croatia, 20–23 June 2005*, pp. 307–316
11. S.S. Williamson, A.K. Rathore, F. Musavi, Industrial electronics for electric transportation: Current state of- The-art and future challenges. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 62, 3021–3032 (2015)

12. P.A. Cassani, S.S. Williamson, Feasibility analysis of a novel cell equalizer topology for plugin hybrid electric vehicle energy-storage systems. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 58, 3938–3946 (2009)
13. A.C. Baughman, M. Ferdowsi, Double-tiered switched-capacitor battery charge equalization technique. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 55, 2277–2285 (2008)
14. K. Nishijima, H. Sakamoto, K. Harada, APWM controlled simple and high performance battery balancing System, in *Proceedings of the IEEE Power Electronics Specialists Conference, Galway, Ireland, vol. 1 (2000)*, pp. 517–520
15. C. Li, Y. Zhang, Z. Cao, D. XU, Single-phase single-stage isolated ZCS current-fed full-bridge converter for high power AC/DC applications. *IEEE Trans. Power Electron.* (2016)
16. C.H. Chang, C.A. Cheng, E.C. Chang, H.L. Cheng, B.E. Yang, An integrated high-power-factor converter with ZVS transition. *IEEE Trans. Power Electron.* (2015)
17. S. Ratanapanachote, H.J. Cha, P.N. Enjeti, A Digitally Controlled Switch Mode Power Supply Based on Matrix Converter. *IEEE Trans. on power Electron.* 21 (2006)
18. J. M. Hancock, Bridgeless PFC boosts low-line efficiency, infineon technologies (2008)
19. Plug-ins progress, in *Green Car Congress, 29 Sept 2006*. Retrieved 30 Dec 2017
20. J. Gonder, T. Markel, Energy management strategies for plug-in hybrid electric vehicles, in *SAE World Congress, 25 Sept 2007*
21. H. Wang, w. Yang, *Overview of Hybrid Electric Vehicle Trend (World Wide Science—The Global Science Gateway, 2018)*
22. Панкратов О.М., Міляев О.К. Безпека життєдіяльності людини у надзвичайних ситуаціях. / Київ: КНЕУ, 2005. 237 с.
23. Гряник Г.М. Охорона праці. / Київ: Урожай, 1994. 272 pp.
24. Бойко І.М. Економіка підприємства. / Київ: Кондор, 2016. 378 с.