

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ АКУМУЛЯТОРА ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ З ДВОСТОРОННІМ ПЕРЕДАВАННЯМ ЕНЕРГІЇ

Виконав:

здобувач вищої освіти денної форми навчання
освітнього ступеня «Магістр», освітньо-
професійної програми «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка» спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

_____ **Роман ШИНКАРИК**

Керівник: **канд. техн. наук, доцент**

_____ **Ігор ГАРАСИМЧУК**

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

«____» _____ 2023 р.

Керівник проектної групи
(гарант освітньої програми)

«Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент _____ **Ігор ГАРАСИМЧУК**

м. Кам'янець-Подільський, 2023р.

АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація має загальний обсяг 67 сторінок містить 31 ілюстрацію, 21 таблицю, 1 додаток, 40 джерел.

Метою роботи є розробка універсального зарядного пристрою електромобіля з можливістю двонаправленого передавання енергії, використання якого дозволить ефективно використовувати акумулятори електромобілів, зокрема в рамках концепції V2G (Vehicle to Grid) як накопичувача для організації автономних систем електроживлення.

При розв'язанні поставлених у роботі завдань був проведений аналітичний розрахунків складових частин принципової схеми та моделювання схем перетворювачів в програмному пакеті Matlab Simulink.

У роботі описані перспективи використання акумуляторних батарей електромобілів, зокрема в рамках концепції Vehicle to Grid в якості регуляторів мережі або резервних джерел живлення. Зроблено огляд можливих топологій для зарядного пристрою з двонаправленим передаванням енергії та обрано мостовий перетворювач з м'якою комутацією транзисторів при нульовій напрузі, що має високий ККД, гальванічну розв'язку та можливість корекції форми струму. Проаналізовані режими роботи перетворювача та порівняно його коефіцієнт корисної дії з аналогічним перетворювачем з жорсткою комутацією транзисторів. Обрана модульна топологія перетворювача для підвищення ефективності та надійності перетворювача та проведено дослідження його роботи шляхом моделювання.

Масове використання таких перетворювачів з концепцією Vehicle To Grid дозволить стабілізувати навантаження енергомережі, ліквідувати дефіцит електроенергії в пікові години.

Ключові слова: зарядний пристрій електромобіля, двонаправлене передавання енергії, концепція Vehicle to Grid, мостовий перетворювач з м'якою комутацією транзисторів, модульний перетворювач.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. ОГЛЯД МЕТОДІВ ІНТЕГРАЦІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ В ГЛОБАЛЬНУ МЕРЕЖУ	8
1.1. Огляд концепцій двостороннього використання електромобілів	8
1.2. Взаємодія електромобілів з відновлюваними джерела енергії	12
1.3. Взаємодія електромобіля з електричною мережею	14
1.4. Методи реалізації концепції V2G в системах електропостачання	15
1.5. Економічна доцільність використання технології V2G	18
1.6. Стандартні рівні потужності зарядних пристроїв	21
Висновки до першого розділу	26
2. ОГЛЯД РОБОТИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА	27
2.1. Вибір топології двонаправленого перетворювача	27
2.2. Аналіз режимів роботи перетворювача	34
2.3. Розрахунок елементів перетворювача	38
Висновки до другого розділу	41
3. АНАЛІЗ МОДУЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ	42
3.1. Огляд топологій модульних перетворювачів	42
3.2. Огляд роботи модульного двонаправленого перетворювача з подвійним активним мостом	44
Висновки до третього розділу	48
4. МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB SIMULINK	49
4.1. Моделювання перетворювача постійного струму	49
4.2. Моделювання перетворювача змінного струму	56
Висновки до четвертого розділу	58
5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	59
5.1. Опис ідеї проекту	61
5.2. Технологічний аудит ідеї проекту	62
5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску проекту	62
5.4. Розробка маркетингової програми проекту	65

Висновки до п'ятого розділу	67
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	70
ДОДАТОК А. Лістинг програмного забезпечення.....	77
ABSTRACT	80

ВСТУП

Актуальність теми. В наші дні існує проблема балансування виробництва та споживання електроенергії, через неможливість виробників миттєво задовольнити потребу споживачів в пікові години навантаження. Існуючі на сьогодні системи акумулювання енергії мають низьку щільність зберігання енергії і їх обслуговування потребує значних затрат. Поступове здешевлення електричних акумуляторів посприяло збільшенню частки електромобілів в транспортному секторі. З розповсюдженням електромобілів велика частина електроенергії буде зберігатися в акумуляторах електромобілів. Оскільки згідно досліджень більшу частину часу приватні транспортні засоби не використовуються, накопичену в їх акумуляторах електроенергію доцільно застосувати для регулювання кривої попиту мережі, до того ж це може принести додатковий дохід власнику електромобіля. Для збільшення ефективності використання акумуляторів необхідно розробити зарядно-розрядний пристрій на основі мостової топології.

Мета і завдання досліджень. Розробка універсального двонаправленого зарядного пристрою, використання якого дозволить ефективно використовувати акумулятори електромобілів, зокрема в рамках концепції V2G (Vehicle to Grid) як накопичувача для організації автономних систем електроживлення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести огляд методів реалізації концепції V2G для вибору найкращого методу для інтеграції акумуляторних батарей в системах електропостачання;

- обрати топологію перетворювача для ефективного передавання електричної енергії в обох напрямках;
- розробити закон керування для корекції коефіцієнту потужності;
- обрати кількість комірок для досягнення необхідних параметрів потужності;
- провести моделювання для оцінки технічних показників перетворювача, зокрема коефіцієнту корисної дії та значення коефіцієнту пульсацій.

Об'єктом дослідження є зарядний пристрій для акумуляторів електромобілів з можливістю двонаправленої передачі енергії.

Предметом дослідження є процес перетворення параметрів електроенергії на основі двонаправленого перетворювача та оцінка ефективності його використання.

Методи дослідження: при розв'язанні поставлених у роботі завдань використовувалася теорія електричних кіл, теорія електромагнітної техніки, теорія перетворювальної техніки, був проведений аналітичний розрахунок складових частин принципової схеми та проведено моделювання схем перетворювачів в програмному пакеті Matlab Simulink.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Запропоновано використання модульного перетворювача для зарядного пристрою на основі двонаправленого перетворювача з двома активними мостами та м'якою комутацією;
2. Розроблено закон керування перетворювачем, що дозволяє формувати струм мережі з корекцією коефіцієнту потужності і $\text{THD} < 5 \%$.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Розроблена методика розрахунку коефіцієнта пульсацій як функція від кількості комірок.
2. Розроблено Simulink-моделі модульних перетворювачів на основі реальних моделей транзисторів та діодів та оцінено ККД модульного перетворювача що знаходиться в межах 85-95 %.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі проаналізовано проблему інтеграції автомобільних акумуляторів до централізованих або автономних систем електроживлення.

1. Проведений огляд методів реалізації концепції V2G (Vehicle to Grid) в системах електропостачання та оцінена економічної доцільності використання цієї концепції.

2. Серед існуючих топологій двонаправлених перетворювачі обрано ізольовану топологію з матричним перетворювачем, на її основі розроблений універсальний зарядний пристрій електромобіля з двостороннім передаванням енергії. Аналітичним методом проведені розрахунки компонентів перетворювача.

3. Для підвищення ефективності запропонований модульний підхід до побудови перетворювача. Аналітичним методом оцінені переваги використання такого підходу, зокрема отримана залежність коефіцієнту пульсацій від кількості комірок та оцінений вплив кількості комірок на зміну коефіцієнту корисної дії перетворювача

4. Проведене моделювання в програмному середовищі Matlab Simulink. Порівняння коефіцієнтів корисної дії показало, що у перетворювача з м'якою комутацією ККД на 10-15 % вище ніж у аналогічного перетворювача з жорсткою комутацією. Оцінено ефект від використання модульного перетворювача при роботі з джерелами постійної та змінної напруги, зокрема проведене порівняння коефіцієнтів пульсації в перетворювачах із різною кількістю комірок при сталому значенні габаритів згладжувального фільтра показало що зі збільшенням кількості комірок від однієї до чотирьох можна досягти зменшення коефіцієнту пульсацій від 0,072 до 0,0002. Також підібрані параметри фільтра для різної кількості комірок, при яких забезпечується однаковий коефіцієнт пульсацій. Дослідження роботи перетворювача на змінному струмі показало, що збільшення кількості комірок покращує форму

вихідного струму, оскільки коефіцієнт нелінійних спотворень струму в одномодульному перетворювачі складає $\text{THD} = 9.48 \%$, а в двомодульному $\text{THD} = 4.29\%$.

Отримані результати показали, що використання модульної топології є ефективним, а використання самого перетворювача згідно концепції Vehicle to Grid має великий потенціал.