

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістр

Освітній рівень

Удосконалений метод керування зарядною станцією електромобіля

Назва теми

КвРАКІТР.2023.185.01.02.ПЗ

Рівень вищої освіти магістр

Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

Шифр, назва

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та

робототехніка»

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та

робототехніка»

Назва

Виконав:

студент II курсу, група АКІТРм-23-1

Підпис

Михайло ПАНТЕЛЕЙЧУК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник

Підпис

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер

Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри АКІТгаР

Підпис

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 16 » грудня 2024 р.

Хмельницький 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
Освітня програма Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКИТгаР

Валерій МАРТИНЮК

01 вересня 2024р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Пантелейчуку Михайлу Володимировичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Удосконалений метод керування зарядною станцією електромобіля

Керівник роботи Мартинюк Валерій Володимирович, д.т.н, професор

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

Затверджено наказом ректора університету від 26.08.2024 р. №60

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.12.2024р.

3 Вихідні дані до роботи

Мета роботи: розробка удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля

Предмет дослідження: удосконалений метод керування зарядною станцією електромобіля

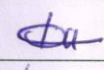
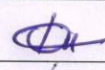
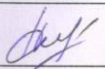
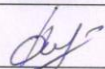
4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Огляд літературних джерел та патентних даних. Математична модель процесу керування зарядною станцією електромобіля. Імітаційна модель удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля. Експериментальне дослідження удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля. Висновки.

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

презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКИТгаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКИТгаР		

7 Дата видачі завдання 01 вересня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

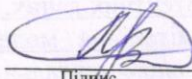
Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1. Вступ	10.09.2024р.	Виконано
2. Огляд літературних джерел та патентних даних	25.09.2024р.	Виконано
3. Математична модель процесу керування зарядною станцією електромобіля	15.10.2024р.	Виконано
4. Імітаційна модель удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля	30.10.2024р.	Виконано
5. Експериментальне дослідження удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля	10.11.2024р.	Виконано
6. Висновки	15.11.2024р.	Виконано
7. Оформлення пояснювальної записки	20.11.2024р.	Виконано
8. Оформлення презентаційних матеріалів	1.12.2024р.	Виконано

Студент


Підпис

Михайло ПАНТЕЛЕЙЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Валерій МАРТИНЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Удосконалений метод керування зарядною станцією електромобіля».

Автор роботи: Пантелейчук Михайло Володимирович.

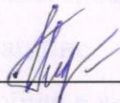
Керівник роботи: Мартинюк Валерій Володимирович.

Пояснювальна записка: 89 с., 68 рис., 8 табл., 1 дод., 80 джерел.

Графічна частина: 12 презентаційних слайдів.

УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД КЕРУВАННЯ ЗАРЯДНОЮ СТАНЦІЄЮ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ, ЗАРЯДНА СТАНЦІЯ, ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ.

Мета роботи: розробка удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля. Розроблено удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля, особливістю якого є те, що елементи керування, які знижують рівень гармонік, що утворюються при перетворенні енергії змінного електричного струму мережі у постійний струм розміщені на виході станції. Іншою перевагою удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля є використання фільтрів.



Підпис студента

02.12.2024

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ ДАНИХ.....	6
1.1 Особливості зарядних станцій для електромобілів	6
1.2 Особливості роботи зарядних станцій електромобілів у мережі змінного струму	17
1.3 Висновки до першого розділу.....	21
2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ЗАРЯДНОЮ СТАНЦІЄЮ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ.....	23
2.1 Особливості моделювання процесу керування зарядною станцією електромобіля	23
2.2 Математична модель удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля	27
2.3 Висновки до другого розділу	36
3 ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ УДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ КЕРУВАННЯ ЗАРЯДНОЮ СТАНЦІЄЮ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ	38
3.1 Особливості імітаційної моделі удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля.....	38
3.2 Імітаційне моделювання процесу керування зарядною станцією електромобіля в середовищі PSIM	44
3.3 Висновки до третього розділу.....	57
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ КЕРУВАННЯ ЗАРЯДНОЮ СТАНЦІЄЮ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ.....	59
4.1 Особливості експериментального дослідження удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля.....	59
4.2 Експериментального дослідження удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля	70
4.3 Висновки до четвертого розділу.....	73
ВИСНОВКИ.....	75
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	76

Додаток А Стаття у фаховому журналі.....	85
--	----

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні зарядні станції електромобілів часто стикаються з низкою проблем, таких як нерівномірний розподіл навантаження в електромережі, недостатня швидкість заряджання, а також відсутність адаптації до різних типів електромобілів. Крім того, зростання кількості зарядних станцій створює нові виклики, пов'язані з інтеграцією таких систем у розумні мережі та необхідністю оптимізації енергоспоживання.

Удосконалений метод керування зарядними станціями спрямований на забезпечення високої ефективності заряджання, зменшення пікових навантажень у мережі та інтеграцію відновлюваних джерел енергії.

Тому розробка удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля є актуальною задачею.

Метою роботи є розробка удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити **завдання:**

- виконати огляд літературних джерел та патентних даних про методи керування зарядними станціями електромобілів;
- розробити математичну модель процесу керування зарядною станцією електромобіля;
- розробити алгоритм та програмну реалізацію удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля;
- розробити імітаційну модель удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля.

Об'єктом дослідження є процес керування зарядною станцією електромобіля.

Предметом дослідження є метод керування зарядною станцією електромобіля.

Методи досліджень. При вирішенні поставлених завдань у роботі були використані методи математичного моделювання, комп'ютерного моделювання, методи оптимізації, а також методи системного аналізу.

Наукова новизна отриманих результатів:

У результаті проведеного дослідження розроблено удосконалений метод керування зарядною станцією електромобіля.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ ДАНИХ

1.1 Особливості зарядних станцій для електромобілів

Електромобіль - це транспортний засіб, який повністю або частково використовує для руху електродвигун, живлення якого здійснюється від акумуляторів, що заряджаються від електромережі.

Існує 3 типи електромобілів.

1. Гібридні електромобілі (ГЕМ) – англійською мовою Hybrid Electric Vehicles (HEV). Гібридні електромобілі використовують двигун внутрішнього згоряння та електродвигун, зазвичай з постійними магнітами.

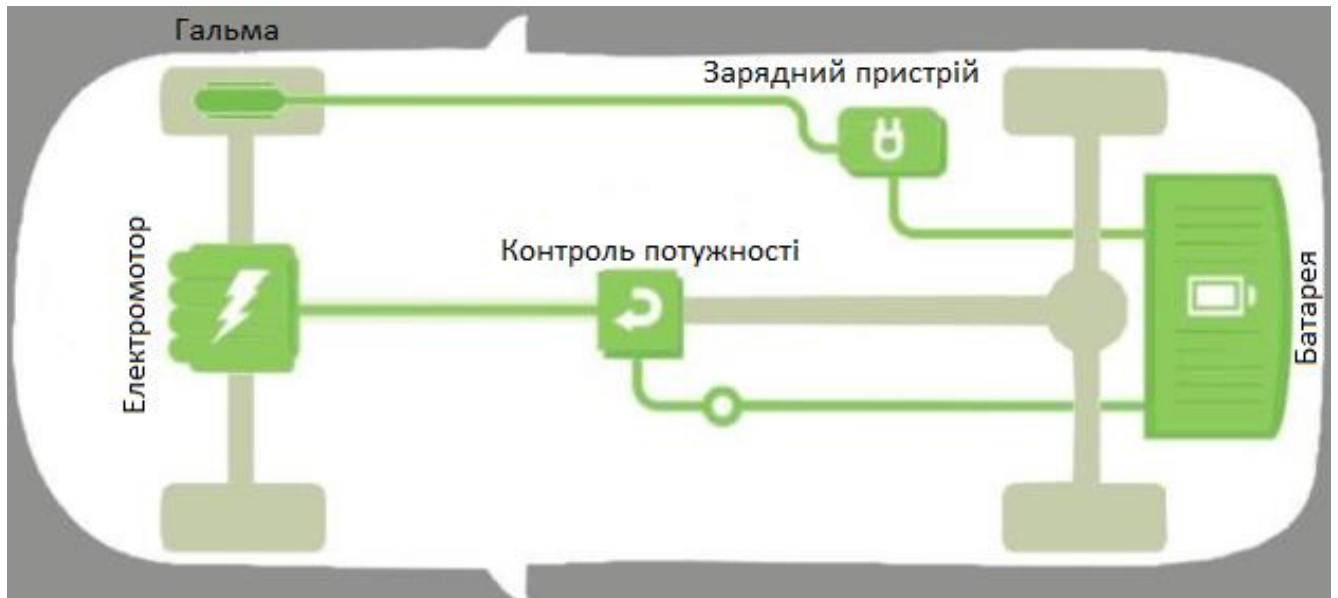
Двигун внутрішнього згоряння використовується для звичайного руху, а електродвигун - для низьких швидкостей і обгонів. Батареї гібридних електромобілів заряджаються за допомогою рекуперативного гальмування, а також шляхом підключення до електромережі, як показано на рисунку 1.1.

2. Електромобілі (ЕМ) - англійською мовою Electric Vehicles (EV). Електромобілі використовують лише енергію акумулятора для приводу електродвигуна.



Рисунку 1.1 – Структурна схема гібридного електромобіля

На рисунку 1.2 показані основні компоненти електромобіля: роз'єм для зарядки акумуляторів, електродвигун, який приводить електромобіль у рух, а також система рекуперативного гальмування, яка також заряджає акумуляторні батареї.



Рисунк 1.2 – Структурна схема електромобіля

3. Електромобілі з великим запасом ходу (ЕМВЗХ) - англійською мовою Extended-Range Electric Vehicle (EREV). Електромобілі з великим запасом ходу мають характеристики електромобіля, але відрізняються тим, що мають додатковий двигун внутрішнього згоряння (або інший генератор енергії).

Генератор енергії обертає електродвигун, має постійну кількість обертів для вироблення електроенергії для живлення електродвигуна і підзарядки акумулятора. Це проміжний варіант між повністю електричними автомобілями та гібридними електромобілями, який підходить для тих, хто хоче зменшити споживання пального, але не готовий повністю залежати від зарядних станцій.

Структурна схема електромобіля з великим запасом ходу показана на рисунку 1.3.

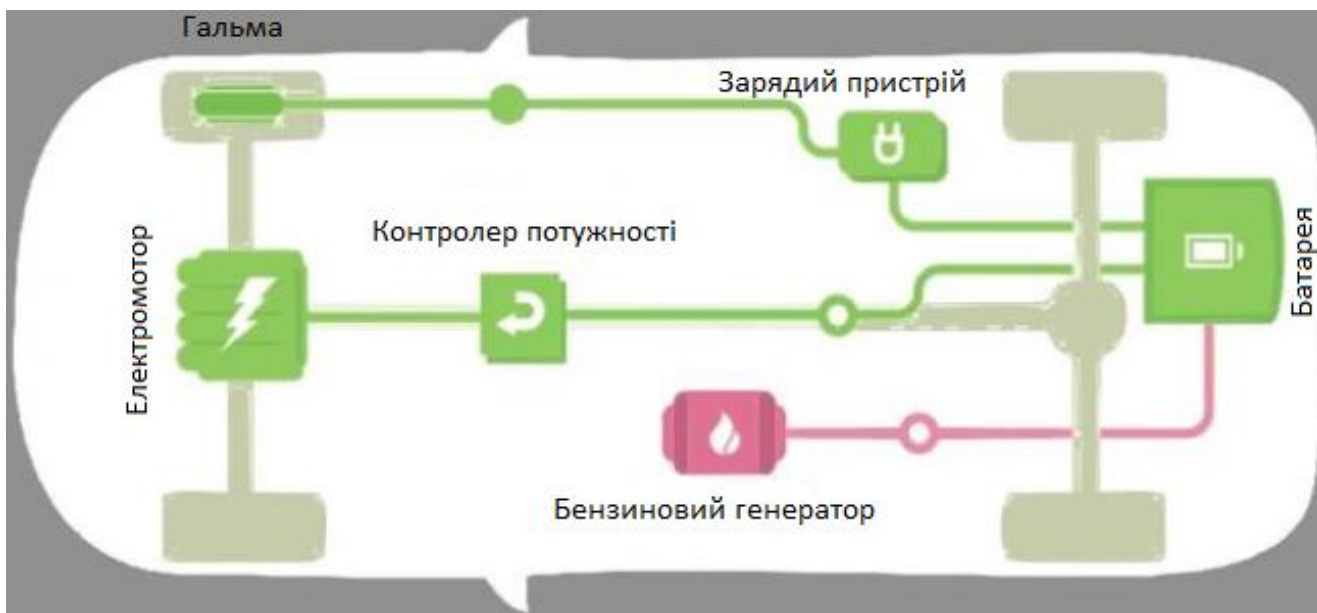


Рисунок 1.3 - Структурна схема електромобіля з великим запасом ходу

Режим заряджання означає рівень зв'язку, який існує між зарядною станцією та електромобілем. У відповідності до міжнародного стандарту ІЕС 61851-1 [1, 2] розрізняють 4 режими заряджання.

Режим 1. Процес заряджання відбувається від однофазної мережевої розетки, яка стандартизована, але не тільки для використання електромобілями.

Вона підтримує максимальний струм 16 А і напругу 250 В, з максимальною потужністю 3,7 кВт. Існує також трифазний варіант цього режиму з максимальною напругою 400 В і максимальною потужністю до 11 кВт.

З боку автомобіля є спеціальний роз'єм, який може відрізнитися в залежності від виробника. Цей режим зарядки використовується для невеликих електромобілів, а також велосипедів та мопедів. На рисунку 1.4 показано електромобіль та роз'єм для цього режиму.

Режим 2. Цей режим подібний режиму 1. У цьому режимі не має спеціальної розетки для використання з електромережею.

У систему захисту, яка включена у кабель та має пілот управління між транспортним засобом і з'єднанням, а також систему диференціального захисту. Максимальний струм дорівнює 16 А і теоретично може бути збільшений до 32 А, з потужністю, аналогічною потужності режиму 1.



Рисунок 1.4 - Режим заряджання 1

Існує трифазний варіант з напругою 400 В і потужністю 22 кВт. З боку електромережі є типова побутова розетка, а в електромобілях є роз'єм, який залежить від виробника, найчастіше використовуються роз'єми Mennekes і SAE J1772.

У режимі 2 є принаймні один роз'єм для зв'язку між електромобілем і електромережею, який використовується як пілот, що вказує на правильність підключення роз'єму. На рисунку 1.5 показано електромобіль та зарядний пристрій, що використовується в цьому режимі.

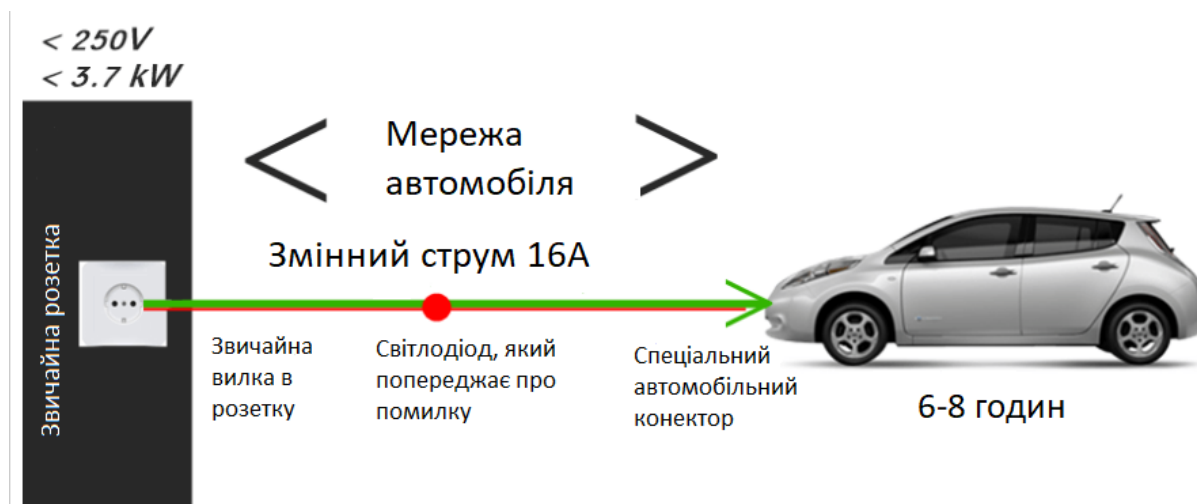


Рисунок 1.5 - Режим заряджання 2

Режим 3. У цьому режимі використовується зарядний термінал, який має спеціальну систему живлення для електромобіля, з функціями управління та захисту на стаціонарній установці. Він має можливість відстежувати

навантаження і відключати живлення, коли не виявляє підключений електромобіль.

Цей режим підтримує максимальний струм 63 А, найпоширеніший - 32 А при максимальній напрузі 250 В. На рис. 1.6 показано режим 3, де можна спостерігати особливості, вже описані для цього режиму.



Рисунок 1.6 - Режим заряджання 3

Режим 4. У режимі заряджання 4 електромобіль підключається до низької напруги через зарядну станцію, яка перетворює змінний струм на постійний для подачі на електромобіль. Він має функцію захисту та контролю.

В основному використовуються роз'єми CHAdeMO, CCS combo або SAE J1772 з додатковим контактом для постійного струму. Це швидкий режим зі струмами до 400 А і максимальною потужністю 240 кВт, з максимальними рівнями напруги 480 В. На рисунку 1.7 показано режим 4.

Класифікація типів процесу заряджування базується на часі, необхідному для повної зарядки електромобіля [3].

1. Надповільна зарядка - відбувається при максимальному струмі 10 А і може зайняти більше 12 годин.

2. Повільна зарядка - також відома як звичайна зарядка, з максимальним струмом 16 А і потужністю до 3,6 кВт.



Рисунок 1.7 - Режим заряджання 4

3. Напівшвидка зарядка - підтримує потужність до 22 кВт, час зарядки від однієї години до п'яти годин.

4. Швидка зарядка - потреба в енергії становить від 44 до 50 кВт. Час заряджання становить 22-25 хвилин, щоб зарядити батарею на 80-90%.

5. Надшвидка зарядка - вважається експериментальною з дуже високою потужністю зарядки за п'ять-десять хвилин.

Серед виробників електромобілів немає єдиної думки щодо того, який роз'єм використовувати, тому існує кілька роз'ємів, які відрізняються за розміром і властивостями.

У стандарті IEC 62196 на роз'єми і штекери для електромобілів перераховані найбільш часто використовувані роз'єми.

1. Тип 1. SAE-J1772 - американський стандарт, прийнятий японцями і визнаний Європейським Союзом, також відомий як YAZAKI.

Стандарт IEC 62196-2 - підтримує максимальний струм 16 А для повільної зарядки з потужністю 1,92 кВт і 80 А для швидкої зарядки потужністю 19,2 кВт, на зарядних станціях 120 В рівня 1 і 240 В рівня 2. Використовується в режимі зарядки 3. На рисунку 1.8 показано роз'єм J1772.

2. Тип 2. Mennekes зі стандартом IEC 62196-2 - це альтернатива, запропонована німцями, затверджена як європейський стандарт, також обрана

американцями, як приклад, ми маємо Tesla, яка використовує цей роз'єм для повільної зарядки.



Рисунок 1.8 - Роз'єм J1772 [4]

Цей роз'єм дозволяє здійснювати однофазну і трифазну повільну зарядку з номінальною потужністю від 3,7 кВт до 44 кВт. Роз'єм показаний на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 - Роз'єм Mennekes [4]

3. Тип 3. Також відомий як Scame, створений у 2010 році асоціацією EV plug Alliance, до якої входять компанії Schneider Electric, Legrand, Scame. На малюнку 1.10 показано роз'єм Scame.



Рисунок 1.10 - Роз'єм Scame [4]

Роз'єм Scame використовується лише в Італії та Франції, тобто більше не використовується. Роз'єм Scame має 5 або 7 клем для однофазного або трифазного струму, відповідно заземлення та зв'язку з мережею. Роз'єм Scame підтримує до 32 А при напівшвидкому навантаженні.

4. Тип CHAdeMO - перший у світі метод швидкої зарядки, розроблений японськими виробниками у 2010 році. Компанії Toyota Motor Corporation, Nissan Motor Co.Ltd., Mitsubishi Motors Corporation, Fuji Heavy Industries Ltd. та Tokyo Electric Power Company Inc. утворили асоціацію CHAdeMO.

Цей стандарт зустрічається не тільки в електромобілях, вироблених в Японії, але і в інших регіонах світу, таких як модель Peugeot ION або Citroën с-ZERO. Крім того, зарядні пристрої зі специфікаціями CHAdeMO розробляються в Сполучених Штатах, Європі та Японії.

Наразі CHAdeMO є єдиною компанією, яка розробила сертифіковану систему електричної зарядки, що дозволяє взаємодію між електромобілем і зарядним пристроєм, і наразі сертифіковано 233 моделі зарядних станцій [5].

32% електромобілів у світі оснащені роз'ємом CHAdeMO, 19% електромобілів Tesla сумісні з адаптером Tesla CHAdeMO, а 21% гібридних автомобілів, що підключаються, сумісні з CHAdeMO [5].

Наразі найшвидшим роз'ємом для зарядки з найбільшою кількістю станцій по всьому світу є CHAdeMO із загальною кількістю 13918 по всьому світу: 4052 в Європі, 7133 в Японії, 2146 в США та 587 в інших країнах [5].

Для зв'язку між автомобілем і зарядним пристроєм використовується протокол зв'язку шини CAN, щоб знати вимоги до струму і напруги для зарядки. Технічні характеристики визначені CHAdeMO також відповідають стандарту IEC 62196-3. Основні характеристики наведені в таблиці 1.1.

Роз'єм CHAdeMO має 10 контактів, як показано на рисункунку 1.11, з яких 2 призначені для передачі постійного струму до акумулятора, а саме контакти 6 і 5. Контакти 8 і 9 використовуються для зв'язку шини CAN. Виводи 1, 2, 4, 7 і 10 - це керуючі виводи, функції яких полягають у тому, що 2 і 10 - це сигнали послідовності, 7 - сигнал наближення, а 1 - сигнал заземлення.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики роз'єму CHAdeMO

Роз'єм CHAdeMO	
Максимальний струм	120 А постійного струму
Максимальна напруга	500 В постійного струму
Максимальна потужність	50 кВт
Максимальний струм (система контролю)	7 А постійного струму
Максимальна напруга (система керування)	12 В постійного струму
Протокол зв'язку	CHAdeMo
Рівень IP	44

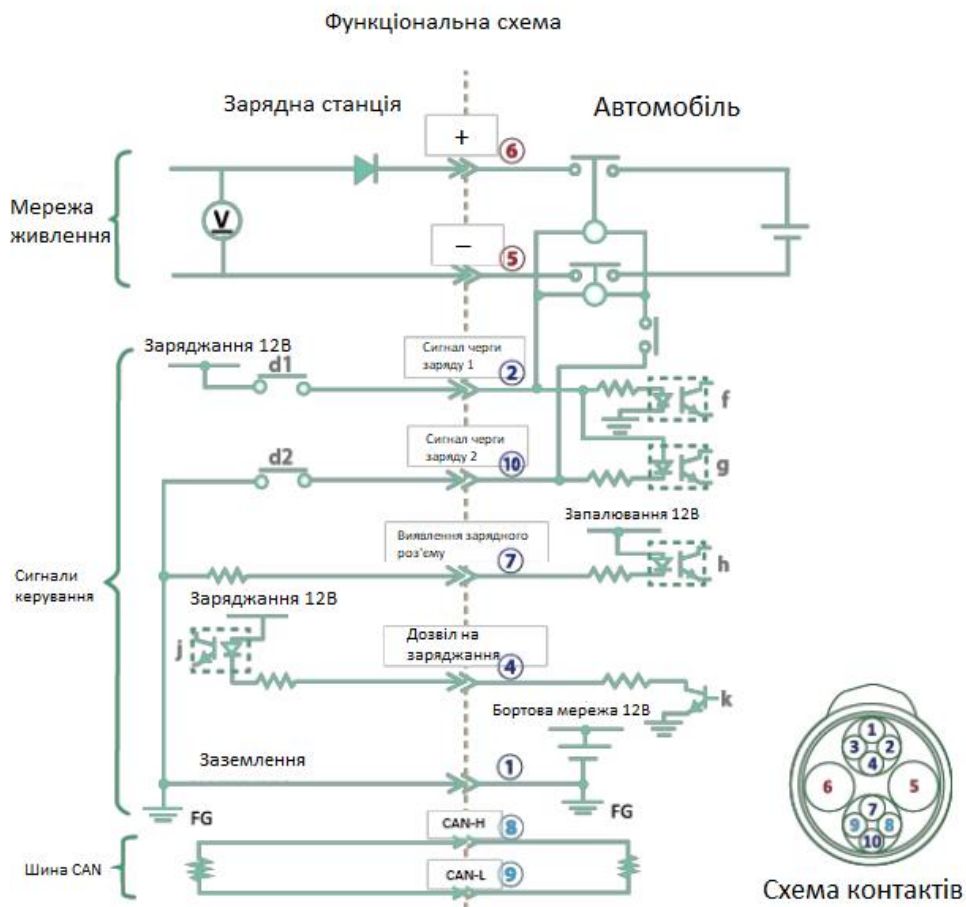


Рисунок 1.11 - Контакти роз'єму CHAdeMO [6]

На рисунку 1.12 зображено етапи, які виконуються під час процесу швидкого заряджання.

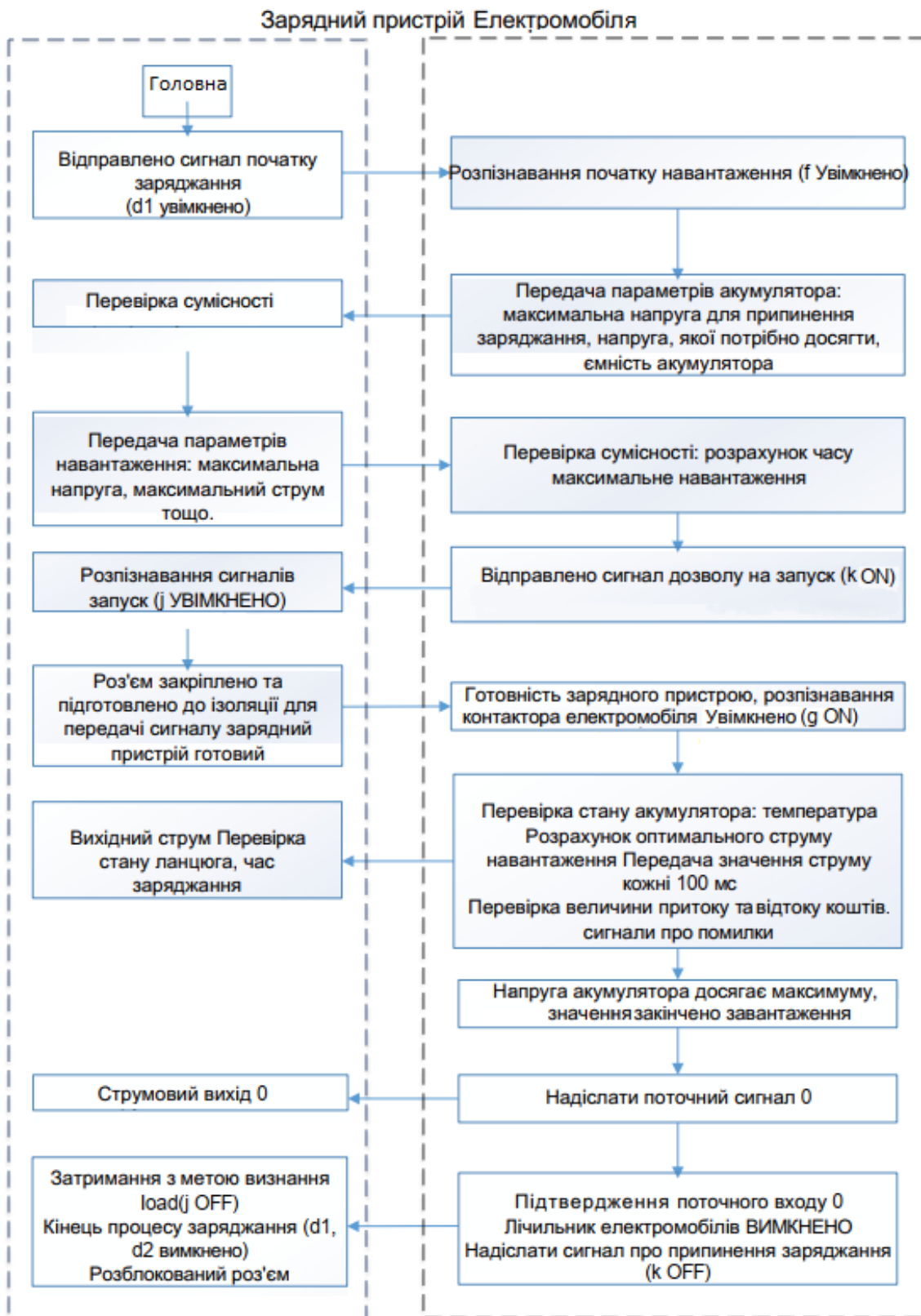


Рисунок 1.12 - Етапи, які виконуються під час процесу швидкого заряджання

На рисунку 1.12 показано дії, що виконуються на кожному етапі, а також взаємодію між зарядною станцією та електромобілем.

CCS Combo - комбінована система зарядки інтегрує контакти змінного струму для однофазної або трифазної зарядки для повільної та напівшвидкої зарядки, а також контакти постійного струму, які дозволяють швидко заряджати автомобіль за допомогою одного роз'єму.

Існує дві версії: перша заснована на стандарті SAE J1772, а друга реалізує роз'єм IEC типу 2. Ці два варіанти позначаються як combo 1 і combo 2 відповідно. Вихідна потужність коливається від 43 кВт до 100 кВт постійного струму. На рисунку 1.13 показано дві версії комбо.



Рисунок 1.13 - Комбінований роз'єм CCS 1 та 2

На початку 2013 року Європейський Союз обрав роз'єм Mennekes в якості стандарту для зарядки електромобілів, виходячи з важливості наявності єдиного роз'єму на європейському рівні і того, що він є найбільш поширеним в Німеччині, Італії та Великобританії.

Згодом Європейський парламент запропонував заборонити використання системи зарядки CHAdeMO, надаючи явну перевагу системі CCS, однак Європейський Союз відкликав цю пропозицію і дозволив стандарту CHAdeMO співіснувати в Європі, беручи до уваги його довгу історію і впровадження на даний момент.

Співіснування існуючих стандартів для швидких зарядних станцій постійного струму та напівшвидкої зарядки змінного струму, про які йшлося вище, стало можливим і ознакою цього є те, що виробники зарядних станцій розробили станції швидкої зарядки, які інтегрують більше одного роз'єму.

Прикладом таких зарядних станцій є модель Terra 53 CJG від АВВ, яка має роз'єми CHAdeMO, CCS, тип 2 AC. Значною мірою цей тип станцій дозволяє користувачеві мати більше різноманітності при виборі електромобіля, знаючи, що доступні станції різних стандартів.

1.2 Особливості роботи зарядних станцій електромобілів у мережі змінного струму

З проникненням електромобілів у навколишнє середовище необхідним є також впровадження зарядних станцій, які з їх масовим використанням впливають на розподільчу мережу змінного струму як з точки зору якості, так і з точки зору пропускної здатності системи.

У джерелі [7] представлено тематичне дослідження, яке оцінює, як змінюється профіль навантаження при різних сценаріях проникнення електромобілів, базовий сценарій представлений типовою кривою навантаження 100 побутових користувачів взимку і влітку у Великобританії на рисунку 1.14.

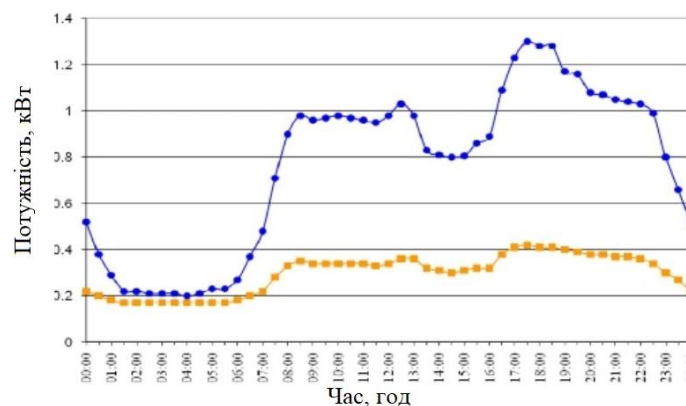


Рисунок 1.14 - Типова крива навантаження 100 побутових користувачів взимку і влітку у Великобританії

Видно, що більше енергії використовується взимку. У дослідженні пропонується проникнення 10%, 20% і 30% електромобілів, а також 3 сценарії, перший з яких передбачає, що підзарядка здійснюється без стимулів для використання в різний час доби.

Беручи до уваги, що більшість користувачів приїжджають додому з роботи і під'єднують транспортний засіб приблизно о 18:00, спостерігається збільшення пікової зарядки на 18% і збільшення на 10% при кожному рівні проникнення електромобілів, як показано на рисунку 1.15.

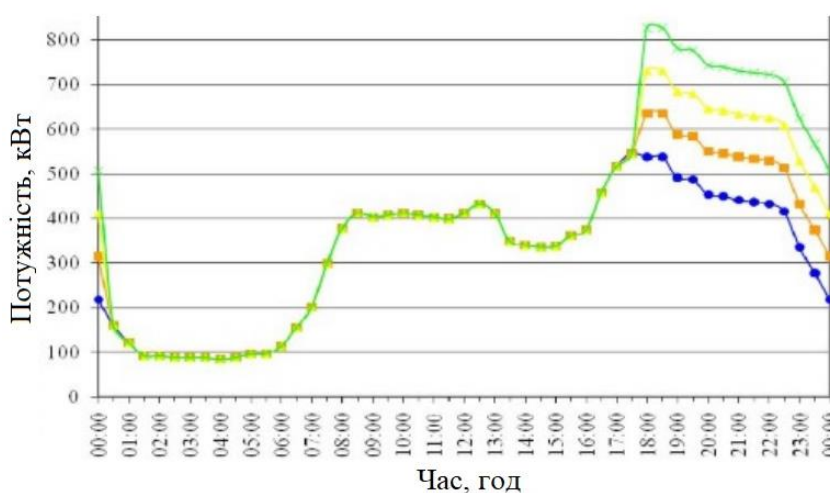


Рисунок 1.15 - Збільшення пікової зарядки на 18% і збільшення на 10% при кожному рівні проникнення електромобілів

Сценарій 2 базується на використанні стимулів для заохочення використання в години з меншим споживанням електроенергії, в даному випадку з 13:00 до 19:00, що призводить до кривої навантаження, показаної на рисунку 1.16.

Сценарій 3 пропонує форму поетапної тарифікації, щоб отримати криву навантаження, яка має тенденцію до пологості в непіковій години, як показано на рисунку 1.17.

Зміна кривої навантаження призводить до зміни профілю напруги, і необхідно провести дослідження, щоб визначити, що він знаходиться у визначених межах.

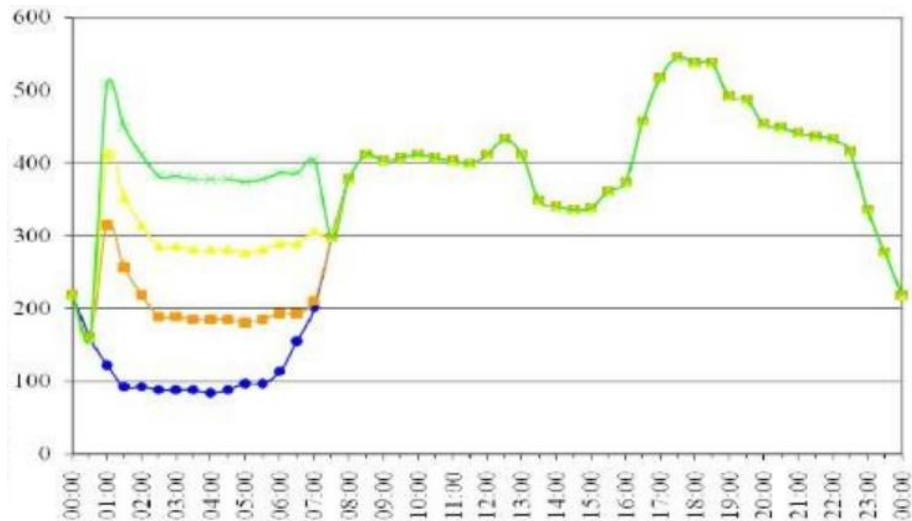


Рисунок 1.16 - Сценарій 2.

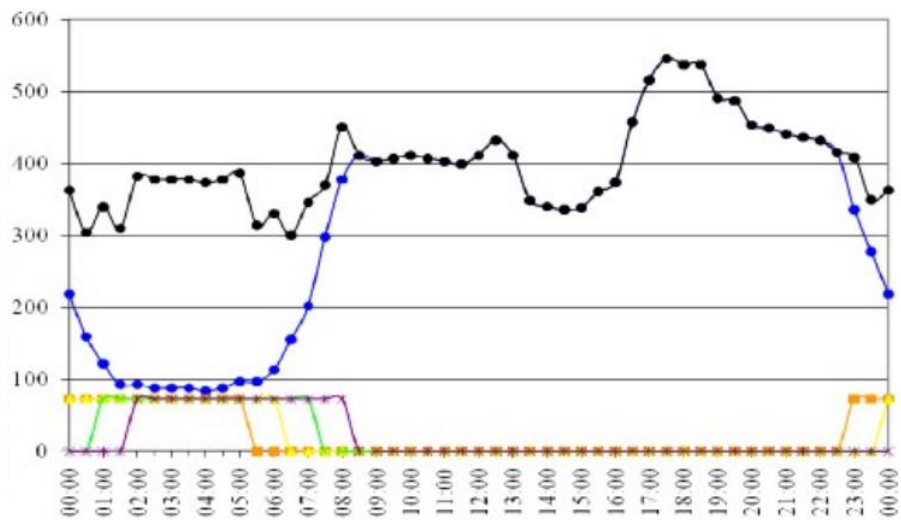


Рисунок 1.17 - Сценарій 3

Як і у випадку зі швидкими зарядними пристроями, так і у випадку з повільними та напівшвидкими зарядними станціями, з масовістю їх використання виникають важливі аспекти, які необхідно вивчати, такі як потужність мережі та якість енергії, приклад цих ефектів вивчається в роботі [8].

Було проаналізовано гармоніки, вироблені кожним зарядним пристроєм, в результаті чого було виявлено, що коефіцієнт гармонік чотирьох зарядних пристроїв не перевищує 3% спотворення, що відповідає стандарту, в той час як коефіцієнт гармонік двох з них не відповідає стандарту, що свідчить про необхідність використання фільтрів для зменшення ефектів.

Сучасні станції швидкої зарядки мають кілька переваг, наприклад, швидку передачу енергії. Батареї електромобілів можна зарядити за 15-30 хвилин на 80%. Це означає, що користувач має більше годин для використання електромобіля.

Використовуючи лише повільну зарядну станцію, потрібно 8 годин, щоб досягти запасу ходу 150 км, при цьому станція доступна 16 годин на добу.

При використанні швидкої та повільної зарядки з 15-годинною доступністю запас ходу збільшується до 270 км. Якщо використовується лише швидка зарядка, можна досягти доступності 23,5 години на день і запасу ходу 240 км [9].

Ще однією перевагою зарядних станцій є те, що вони використовують зрілі технології. Основна структура - це фільтр та AC/DC перетворювач [10]. Ця технологія вже використовувалася раніше, але існують варіації в тому, як здійснюється управління процесом перетворення у відповідності до рисунка 1.18.



Риснок 1.18 - Базова структура швидкого зарядного пристрою [10]

Існує кілька статей, в яких представлена топологія і система управління, деякі з них, де пропонується трифазний зарядний пристрій з Boost-перетворювачем. Також пропонується керування випрямлячем за допомогою ШІМ-керування з контрольованою вихідною напругою постійного струму з отриманням коефіцієнтм гармонік менше 5%.

Більш повна структура перетворювача представлена в [11], де також використовується технологія, яка раніше застосовувалася в різних додатках. На рисунку 1.19 зображено уточнену структурну схему зарядної станції



Рисунок 1.19 - Уточнена структурна схема зарядної станції

Уточнена структурна схема зарядної станції підтримується комбінованим виробництвом CCS та CHAdeMO. Існування стандартів дозволяє виробникам створювати зарядні станції, які відповідають вимогам безпечної зарядки в межах дозволеного діапазону потужності.

У зв'язку з постійним занепокоєнням щодо глобального потепління, державні органи влади прагнуть заохочувати використання електромобілів [12].

Існують також слабкі сторони, такі як потреба у більшій потужності, що спричиняє вплив на електромережу. Відносно висока вартість обладнання, встановлення та експлуатації зарядних пунктів [13].

З іншого боку, використання станцій швидкої зарядки створює можливості, оскільки це найкращий варіант вирішення проблеми автономності транспортних засобів. Вони також можуть бути інтегровані з інтелектуальними мережами та розподіленою генерацією, наприклад, з використанням сонячних панелей.

1.3 Висновки до першого розділу

1. При використанні зарядних станцій необхідно проводити дослідження, оскільки було помічено, що при використанні зарядних станцій електроенергетичній системі потрібно більше енергії, що призводить до впливу на криву попиту.

2. Зарядні станції також використовують перетворювачі змінного/постійного струму, які генерують гармоніки, і важливо визначити рівень впливу при їх масовому використанні.

3. Системи зарядки мають велике значення для масового використання електромобілів, станція швидкої зарядки зменшує рівень занепокоєння водіїв, дозволяючи їм подорожувати містом з більшою безпекою, знаючи, що вони можуть підзарядитися.

4. В процесі планування мережі станцій швидкої зарядки не потрібно великої їх кількості, тому що використання станцій швидкої зарядки не є частим, але важливими є райони їх розміщення в місті.

5. Крім того, введення станцій швидкої зарядки з перетворенням енергії змінного/постійного струму призводить до генерації гармонік і підвищених вимог до електроенергії, тому необхідно провести дослідження впливу на місце, де вони будуть встановлені.

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ЗАРЯДНОЮ СТАНЦІЄЮ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

2.1 Особливості моделювання процесу керування зарядною станцією електромобіля

Зарядні станції, відомі як електрозарядні пристрої (ЕЗП), виконують функцію постачання енергії для заряджання акумулятора електромобіля у безпечний спосіб, що відповідає встановленим стандартам. Для заряджування електромобілів використовуються зарядні станції рівня 2 з напругою 240 В у відповідності до стандарту SAE J1772 [14] з роз'ємом J1772.

Зарядна станція відповідає за подачу змінного струму до електромобіля, а електромобіль має обладнання для перетворення поданого змінного струму в постійний, який зберігається в акумуляторах. Це обладнання обмежене за розміром, оскільки воно вбудоване всередину електромобіля, і тому не містить фільтрів для зменшення гармонік, що генеруються в процесі перетворення змінного/постійного струму.

Стандарт SAE J1772 був розроблений Товариством автомобільних інженерів (TAI) [15] для підключення електромобілів до зарядної станції в безпечних умовах експлуатації. Цей стандарт визначає фізичні та електричні характеристики, яким повинен відповідати роз'єм для електромобіля.

Функції роз'єму полягають у надійному підключенні електромобіля до зарядної станції шляхом правильного з'єднання контактів зарядки, заземлення та комунікаційних контактів для управління. Конектор має загалом 5 контактів, які описані в таблиці 2.1.

Контрольний пілот (КП): це лінія зв'язку, яка використовується для координації підтримуваного для зарядки значення струму між електромобілем і зарядною станцією.

Таблиця 2.1 - Функції контактів стандарту SAE J1772

Номер контакту	Функція контакту	Функція вихідного контакту транспортного засобу	Опис
1	Живлення змінного струму (L1)	Рядок 1	Живлення змінного струму рівень 1 та рівень 2
2	Живлення змінного струму (L2)	Лінія 2	Живлення змінного струму рівень 1 та рівень 2
3	Земля	Заземлений корпус	Заземлення Обладнання EVSE та шасі транспортних засобів
4	Пілотне управління	Управління пілотом	Первинний контроль
5	Виявлення наближення	Виявлення наближення	Дозволяє автомобілю виявити підключення до EVSE.

Для цього використовується прямокутний сигнал частотою 1кГц з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) і амплітудою 12 В, який генерується зарядною станцією для виявлення присутності електромобіля, а також для передачі максимального струму зарядки, дозволеного відповідно до робочого циклу.

Перевірка підключення транспортного засобу здійснюється в наступному порядку:

1. Індикація стану очікування ООЕМ;
2. Індикація стану готовності ООЕМ до подачі живлення;
3. Індикація готовності електромобіля до отримання живлення;
4. Визначення вентиляційного виходу;
5. Перевірка поточної потужності ООЕМ.

Виявлення наближення.

Функція виявлення наближення полягає у виявленні присутності роз'єму зарядної станції з виходом електромобіля.

Роз'єм зарядної станції також повинен подавати сигнал відключення зарядної станції та електромобіля в разі втрати зв'язку між зарядною станцією та електромобілем, щоб зарядна станція зменшила кількість енергії, що подається в момент відключення.

Лінія зв'язку між зарядною станцією та електромобілем здійснюється через пілотний блок керування. Для того, щоб визначити струм, який приймає електромобіль, зарядна станція генерує прямокутний сигнал з напругою ± 12 В частотою 1 кГц, який надсилається за допомогою пілотного контакту пульта керування.

Для того, щоб дізнатися стан навантаження, використовується перемикання опору для визначення різних станів навантаження у відповідності до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Інформування про стан зарядної станції та електромобіля

Стан зарядної станції	Стан електромобіля	Опір CP-PE	Опір R2	Напруга, CP-PE
Стан А	Розміщення	Відкрито		+12 В
Стан В	Транспортний засіб виявлено	2740		+9 В \pm 1 В
Стан С	Готовий (заряджається)	882	1300	+6 В \pm 1 В
Стан D	З вентиляцією	246	270	+3 В \pm 1 В
Стан E	Без живлення (вимкнено)	0		0 В
Стан F	Помилка			-12 В

Для того, щоб знати величину струму, який потрібно подавати на електромобіль, використовується коефіцієнт заповнення імпульсів ШІМ сигналу КП з частотою 1 кГц.

Зв'язок між коефіцієнтом заповнення імпульсів та струмом визначається двома рівняннями [16], які залежать від діапазону струму навантаження (I_H), що знаходиться в межах від 6 А до 51 А.

Коефіцієнт заповнення імпульсів визначається рівнянням (2.1).

$$D = \frac{I_H}{0,6}. \quad (2.1)$$

Коефіцієнт заповнення імпульсів використовується для зарядної станції електромобіля для обмеження значення зарядного струму. У випадку, коли струм навантаження обмежений електромережею в діапазоні від 51 А до 80 А, рівняння, яке визначає коефіцієнт заповнення імпульсів, має вигляд (2.2):

$$D = \frac{I_H}{2,5} + 64. \quad (2.2)$$

Використовуючи наведені вище рівняння, отримано таблицю 2.3, яка відповідає коефіцієнту заповнення імпульсів, що обробляється зарядною станцією при обмеженні струму заряду електромобіля.

Таблиця 2.3 - Коефіцієнт заповнення імпульсів

Коефіцієнт заповнення імпульсів	Струм, А
10	6
20	12
25	15
50	30
66,6	40
90	65
96	80

Існують обмеження, яких повинні дотримуватися енергорозподільні компанії з точки зору якості електроенергії. Що стосується напруги, то для середньої напруги допускається відхилення $\pm 8\%$. В таблиці 2.4 вказані допустимі межі гармонік напруги.

Що стосується гармонік струму, то можна використовувати стандарт ІЕС 61000-3-4. Також можна застосовувати ІЕЕЕ 519-2014, в якому обмеження залежать від типу навантаження, оскільки, враховуючи співвідношення максимального струму короткого замикання і максимального струму навантаження, його межі дещо жорсткіші.

Таблиця 2.4 - Дозволені гармоніки напруги мережі живлення

Непарні гармоніки не кратні 3	$V \leq 40KV$ % $V \leq 40KV$ % $V \leq 40KV$ По відношенню до номінальної напруги	Непарні числа, кратні 3	$V \leq 40KV$ % По відношенню до номінальної напруги	Пари	$V \leq 40KV$ % По відношенню до номінальної напруги
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.3	6	0.5
13	3	21	0.2	8	0.5
17	2	>21	0.2	10	0.5
19	1.5			12	0.2
23	1.5			> 12	0.5
25	1.5				
>25	$0.2+1.3*25/n$				

Стандарт IEEE 519-2014 зосереджується на вимірюванні гармонік та рекомендаціях щодо граничних значень гармонік напруги та струму. Межі цього стандарту зосереджені на застосуванні точки спільного підключення, яка є найближчою до користувача точкою в системі, в якій оператор може запропонувати послугу іншим користувачам

Цей стандарт рекомендує, щоб контроль гармонік був спільною відповідальністю як оператора системи, так і користувача. Користувач повинен використовувати навантаження, які випромінюють гармоніки, що знаходяться в допустимих межах, тоді як оператор повинен відповідати за зменшення спотворень напруги.

2.2 Математична модель удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля

Для розробки математичної моделі удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля виберемо зарядну станцію моделі EVSE-RS від

виробника "Aero Viroment". Основні характеристики зарядної станції моделі EVSE-RS наведені в таблиці 2.5 [17].

Таблиця 2.5 – Основні характеристики зарядної станції моделі EVSE-RS

Конектор	SAE J1772
Напруга змінного струму	208/240 V
Максимальний струм	30 A
Частота	60 Гц
Потужність	7,2 кВт

Розглянемо характеристики заряду, коли зарядна станція заряджає батарею електромобіля з початковим станом заряду (C3) 15% батареї, поки не досягне кінцевого C3 100%.

На рисунку 2.1 зображена структурна схема під'єднання зарядної станції моделі EVSE-RS.



Рисунок 2.1 - Структурна схема під'єднання зарядної станції моделі EVSE-RS

В процесі заряду батареї від 18% до 95%, середня вхідна потужність зарядної станції складає 5,87 кВт, а середня вихідна потужність дорівнює 5,12 кВт. Значення втрат потужності складає 0,73 кВт.

Ці втрати є результатом перетворення в тепло внаслідок перетворення енергії, що відповідає ККД 87,41%. В таблиці 2.6 наведена вхідна потужність зарядного пристрою та вихідна потужність перетворювача, а також ККД.

Таблиця 2.6 - Основні характеристики зарядної станції моделі EVSE-RS

Рівень заряду батареї %	Станція А (5.9 kW)			Напруга в батареї (VDC)
	Вхідна потужність кВт	Вихідна потужність кВт	Ефективність%	
18	5.88	4.93	83.84	342
24	5.87	5.12	87.22	349
31	5.88	5.12	87.07	349
38	5.68	5.02	88.38	353
43	5.86	5.07	86.52	357
50	5.81	5.13	88.30	361
55	5.8	5.18	89.31	365
65	5.9	5.17	87.63	373
75	5.83	5.16	88.51	381
85	5.83	5.1	87.48	388
95	5.87	5.12	87.22	395
Середнє	5.83	5.10	87.40	

У випадку електромобіля для повного заряду батареї потрібно 27 кВт·год енергії. При використанні зарядної станції AC/DC перетворювач видає 5,10 кВт за час 5,3 години.

Враховуючи ідеальний робочий діапазон стану заряду від 20% до 90%, рекомендований в [18], для продовження терміну служби акумуляторної батареї необхідно зарядити лише 18,9 кВт·год енергії, що становить 70% за цієї умови. Для необхідно приблизно 3,7 год, але під час заряджання втрачається 2,73 кВт·год енергії.

Для моделювання зарядної станції EVSE-RS використаємо програмне забезпечення PSIM, яке є інструментом для моделювання силової електроніки та електричних ланцюгів з графічним інтерфейсом, що дозволяє інтуїтивно створювати різні типи схем.

Для характеристики споживання струму, використовуючи закон Ома, розраховуємо опір, який відображає використання зарядної станції $R=V/I$. В результаті отримуємо опір навантаження величиною 8,14 Ом. На рисунку 2.2

зображено математичну модель навантаження.

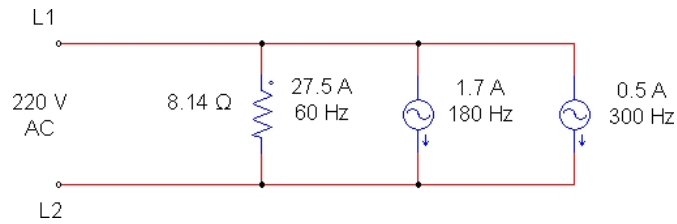
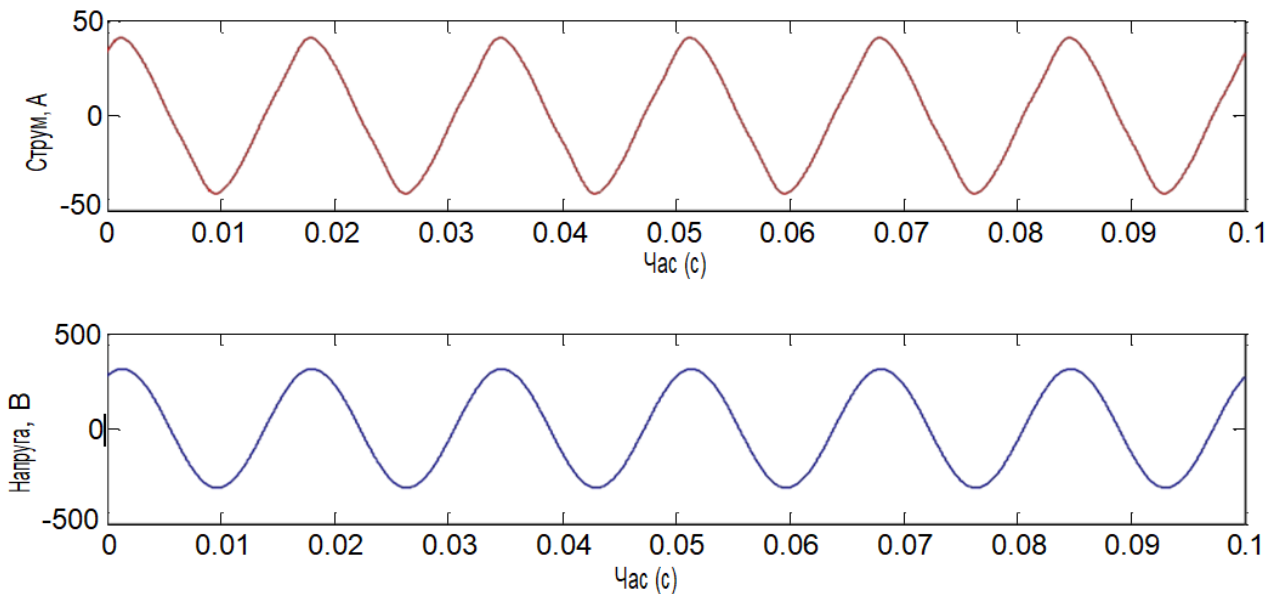


Рисунок 2.2 - Математична модель навантаження

Для імітації впливу гармонік використовуються джерела струму з амплітудою гармонік 1,7 А та 0,5 А. На рисунку 2.3 показані осцилограми струму і напруги, отримані в результаті моделювання.



Риснок 2.3 - Осцилограми струму і напруги, отримані в результаті моделювання

Напівшвидкісні зарядні станції технічного рівня 2 призначені для домашнього використання та в місцях громадського доступу, такі як торгові центри. Важливо зазначити, що користувачі можуть не мати часу, необхідного для виконання напівшвидкої зарядки з приблизним часом 4,5 години, що зумовлює необхідність впровадження станцій швидкої або екстреної зарядки, які потребують в середньому близько 15 хвилин для заряджання акумулятора до 80%.

Швидка зарядна станція - це обладнання, яке забезпечує електромобіль

електроенергією для заряджання його акумуляторної батареї настільки швидко, наскільки дозволяють рівні безпеки, передбачені стандартами.

У швидких зарядних станціях відбувається перетворення енергії змінного електричного струму мережі у постійний струм на виході станції, яка знаходиться ззовні транспортного засобу. У напівшвидких станціях використовується перетворювач енергії змінного електричного струму мережі у постійний струм на виході станції, який вбудований у транспортний засіб.

Перевагою швидких станцій є те, що вони є зовнішніми. Швидкі станції не обмежені в розмірах, тому мають елементи керування, які знижують рівень гармонік, що утворюються при перетворенні енергії змінного електричного струму мережі у постійний струм на виході станції. Іншою перевагою швидких станцій є використання фільтрів.

В даний час найбільш поширений і давно встановлений у всьому світі стандарт, назва якого зареєстрована як "CHAdeMO", акронім від "CHArge de MOve", що означає "Заряджай, щоб рухатися".

Стандарт CHAdeMO визнаний Інститутом інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) в якості рекомендації для швидкої зарядки електромобілів в технічному стандарті "IEEE Standard Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles".

Стандарт CHAdeMO визнаний також Міжнародною електротехнічною комісією (IEC) у стандарті "Електричні транспортні засоби з кондуктивною системою зарядки - Частина 23: Зарядна станція для електромобілів постійного струму". У цьому стандарті представлені рекомендації, яким повинен відповідати швидкий зарядний пристрій постійного струму.

Характеристики, яким повинні відповідати станції швидкої зарядки, взяті зі стандарту CHAdeMO, оскільки він є найбільш поширеним на сьогоднішній день, і детально описані нижче [19].

Вимоги, яким повинна відповідати зарядна станція:

1. Пристрій повинен показувати користувачеві стан процесу заряджання та, за необхідності, вживати коригувальних заходів;

2. І зарядний пристрій і транспортний засіб повинні бути обладнані засобами, які дозволяють підтвердити, що вони увімкнені під час заряджання;

3. Зарядний пристрій повинен мати засоби для припинення заряджання в разі переривання зв'язку між зарядним пристроєм і транспортним засобом;

4. Коли зарядний пристрій від'єднано, він повинен зупинити процес заряджання протягом 10 секунд;

5. Зарядний пристрій повинен виявляти втрату ізоляції, коротке замикання та замикання на землю;

6. Зарядний пристрій повинен бути оснащений функцією захисту від перенапруги;

7. Система повинна бути спроектована таким чином, щоб при відсутності навантаження на клеммах роз'єму не було напруги;

8. Система повинна бути спроектована таким чином, щоб захистити користувачів, щоб вони не могли торкатися електричних частин транспортного засобу та зарядного пристрою, що знаходяться під напругою;

9. Зарядний пристрій повинен бути обладнаний засобами виявлення струму витоку на землю та автоматичного відключення для запобігання ураження електричним струмом;

10. Зарядний пристрій або зарядний роз'єм повинен мати захисний пластиковий ковпачок на клеммах, щоб зменшити ризик контакту з частинами, що перебувають під напругою;

11. Зарядний пристрій повинен мати захист від перевантаження та короткого замикання на стороні живлення змінного струму;

12. Система зарядки повинна бути спроектована таким чином, щоб рівень напруги між будь-якою доступною частиною водія, включаючи кабель, роз'єм і заземлену частину, знижувався до менш ніж 60 В протягом 1 с після видалення транспортного засобу або зарядного пристрою;

13. Стандарт також визначає, що умови використання зарядного пристрою на відкритих місцях повинні працювати в середовищі з висотою 1000 м або менше, при температурі від -10°C до 40°C і з рівнем вологості від 30% до 90%.

14. Технічні характеристики, яким повинні відповідати зарядні пристрої, наведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Технічні характеристики, яким повинні відповідати зарядні пристрої

Метод керування	Контроль постійного струму, заснований на струмі, необхідному для автомобіля.
Живлення на вході	<p>Номінальна напруга для кожної країни АС ($\pm 15\%$), 50 Гц або 60 Гц ($\pm 5\%$).</p> <p>Коефіцієнт потужності 0,95 або більше за умов максимальної потужності та струму зарядного пристрою.</p> <p>Якщо прикласти перехідну напругу 6 кВ на первинну сторону, напруга на землю перевищує 300 В, то на вторинній стороні вона має бути знижена до 2.5 кВ.</p> <p>Якщо використовується розрядник для зменшення перехідної напруги, випробування розрядника не проводиться.</p>
Вихід	Напруга від 50 В DC до 500 В DC і струм від 0 А до 125 А.
Пульсація	<p>До 10 Гц: 1.5 А або менше.</p> <p>До 5 кГц: 3 А або менше.</p>
Ефективність перетворення	90% або вище.
Шум	65 дБ або менше @ 1 м.
Система зв'язку	<p>Протокол зв'язку використовується CAN 2.0.</p> <p>Передача на швидкості 500 kbps.</p> <p>Цикл передачі 100 мс $\pm 10\%$.</p>
Система захисту	<p>Основний контур: Вимикач відмови заземлення та короткого замикання.</p> <p>Контур керування: Вимикач відмови заземлення та короткого замикання.</p>

Конструкція зарядного пристрою повинна враховувати:

1. Метод заряджання.

Для заряджання використовується метод постійного струму. Транспортний засіб повинен передавати зарядному пристрою необхідний зарядний струм через

постійний інтервал часу.

Зарядний пристрій повинен видавати струм, що відповідає запитуваному значенню. Якщо значення струму, запитуваного автомобілем, змінюється, зарядний пристрій повинен змінити вихідний струм і слідувати новому запитуваному значенню.

2. Керування сигналами.

Керуючий сигнал повинен бути виділений для передачі сигналів про початок і кінець навантаження.

3. Зв'язок.

Повинен використовуватися зв'язок для передачі даних, необхідних для контролю заряду, зарядний пристрій і транспортний засіб повинні обмінюватися параметрами через інтерфейс зв'язку.

4. Основні функції.

Зарядний пристрій повинен мати наступні функції.

1. Підтвердження з'єднання.

Зарядний пристрій та електромобіль повинні мати обладнання, щоб знати, коли вони з'єднані під час заряджання.

2. У разі втрати зв'язку заряджання слід припинити.

3. Коли провідник між електромобілем і зарядним пристроєм виймається, зарядний пристрій повинен негайно припинити заряджання.

4. Під час заряджання зарядний пристрій повинен виявити замикання на землю на стороні постійного струму і припинити заряджання.

5. Захист від короткого замикання.

6. Необхідно передбачити захист від перенапруги.

7. Сигнали зупинки від електромобіля до зарядного пристрою повинні бути надлишковими. Процес заряджання повинен бути зупинений подією з аналоговими сигналами або даними на шині CAN. Зарядний пристрій повинен бути оснащений обладнанням, яке забезпечує припинення роботи відповідно до вимог транспортного засобу.

8. Зарядний пристрій повинен бути обладнаний системою вимірювання

напруги, щоб знати, яку напругу можна подавати на автомобіль і коли зарядний пристрій можна зняти.

9. Як зарядний пристрій, так і транспортний засіб повинні бути обладнані засобами зберігання інформації про помилки та розслідування в разі несправності з обох сторін.

Структурна схема, яку повинен мати зарядний пристрій, показана на рисунку 2.3.

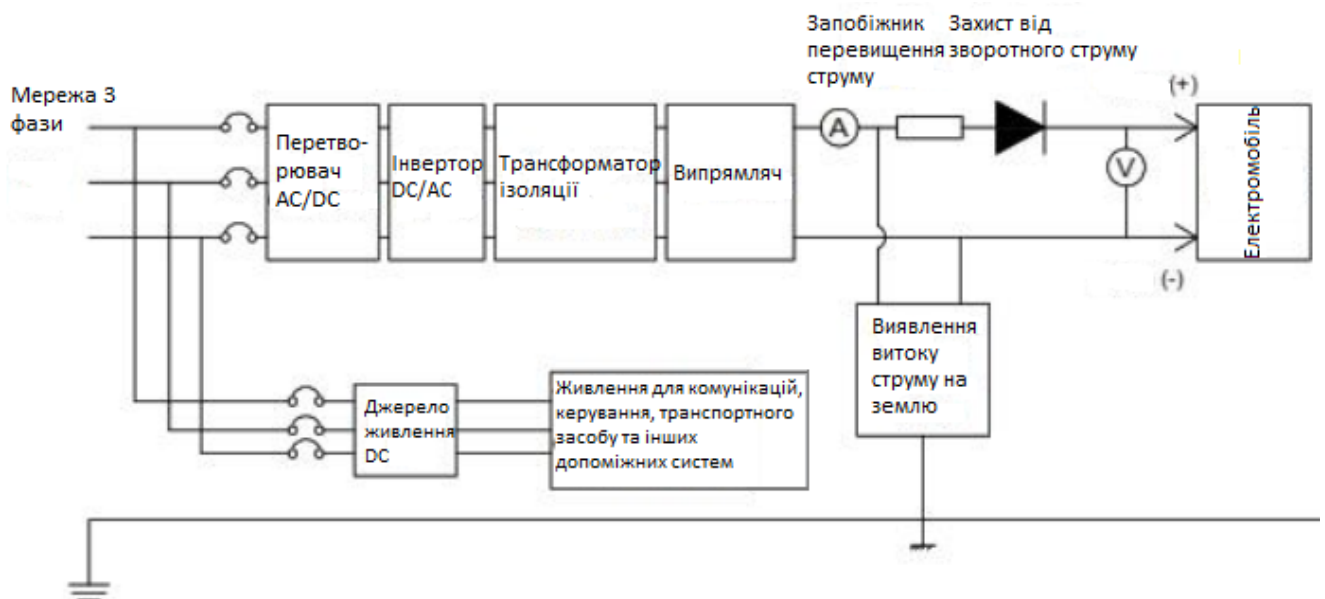


Рисунок 2.4 - Структурна схема зарядного пристрою

Зарядний пристрій має перетворювач змінного/постійного струму. Стандарт визначає, що вхід змінного струму і вихід постійного струму повинні бути ізольовані. Для цього зарядний пристрій має другий каскад, в якому постійний струм знову перетворюється у змінний (інвертується).

За допомогою інвертора змінний струм може бути ізольований за допомогою трансформатора, щоб згодом здійснити випрямлення. Він також повинен мати діод, щоб запобігти поверненню струму, додатково він також має запобіжник зі значенням менше 250 А.

Зарядна станція повинна бути підготовлена для живлення контактора електромобіля напругою 12 В постійного струму. Це джерело живлення має бути

незалежним від основного джерела живлення, щоб несправність основного джерела живлення не впливала на нього.

Це джерело живлення має бути 12 В постійного струму $\pm 10\%$, з силою струму 2 А і потужністю 24 Вт. Крім того, зарядний пристрій повинен захищати автомобіль від короткого замикання в електромережі 12 В, граничний струм короткого замикання становить 6 А.

2.3 Висновки до другого розділу

1. Зарядні станції, відомі як електрозарядні пристрої, виконують функцію постачання енергії для заряджання акумулятора електромобіля у безпечний спосіб, що відповідає встановленим стандартам. Для зароджування електромобілів використовуються зарядні станції рівня 2 з напругою 240 В у відповідності до стандарту SAE J1772 з роз'ємом J1772.

2. Зарядна станція відповідає за подачу змінного струму до електромобіля, а електромобіль має обладнання для перетворення поданого змінного струму в постійний, який зберігається в акумуляторах. Це обладнання обмежене за розміром, оскільки воно вбудоване всередину електромобіля, і тому не містить фільтрів для зменшення гармонік, що генеруються в процесі перетворення змінного/постійного струму

3. Існують обмеження, яких повинні дотримуватися енергорозподільні компанії з точки зору якості електроенергії. Що стосується напруги, то для середньої напруги допускається відхилення $\pm 8\%$. Що стосується гармонік струму, то можна використовувати стандарт ІЕС 61000-3-4. Також можна застосовувати ІЕЕЕ 519-2014, в якому обмеження залежать від типу навантаження, оскільки, враховуючи співвідношення максимального струму короткого замикання і максимального струму навантаження, його межі дещо жорсткіші.

4. В процесі заряду батареї від 18% до 95%, середня вхідна потужність зарядної станції складає 5,87 кВт, а середня вихідна потужність дорівнює 5,12 кВт. Значення втрат потужності складає 0,73 кВт. Ці втрати є результатом перетворення в тепло внаслідок перетворення енергії, що відповідає ККД 87,41%.

5. Напівшвидкісні зарядні станції технічного рівня 2 призначені для домашнього використання та в місцях громадського доступу, такі як торгові центри. Важливо зазначити, що користувачі можуть не мати часу, необхідного для виконання напівшвидкої зарядки з приблизним часом 4,5 години, що зумовлює необхідність впровадження станцій швидкої або екстреної зарядки, які потребують в середньому близько 15 хвилин для заряджання акумулятора до 80%.

6. У швидких зарядних станціях відбувається перетворення енергії змінного електричного струму мережі у постійний струм на виході станції, яка знаходиться ззовні транспортного засобу. У напівшвидких станціях використовується перетворювач енергії змінного електричного струму мережі у постійний струм на виході станції, який вбудований у транспортний засіб.

7. Перевагою швидких станцій є те, що вони є зовнішніми. Швидкі станції не обмежені в розмірах, тому мають елементи керування, які знижують рівень гармонік, що утворюються при перетворенні енергії змінного електричного струму мережі у постійний струм на виході станції. Іншою перевагою швидких станцій є використання фільтрів.

3 ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ УДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ КЕРУВАННЯ ЗАРЯДНОЮ СТАНЦІЄЮ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

3.1 Особливості імітаційної моделі удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля

У відповідності до стандарту "IEEE Standard Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles", зарядна станція має перетворювач енергії змінного струму в енергію постійного струму.

Функція перетворювача енергії змінного струму в енергію постійного струму полягає в перетворенні змінного струму з мережі в постійний струм з визначеною поведінкою з точки зору якості електроенергії, як описано в стандарті.

Перетворювач енергії змінного струму в енергію постійного струму є повністю керованим трифазним перетворювачем, який використовує транзистори. Перетворювач енергії змінного струму в енергію постійного струму є повномостовим перетворювачем, що має перевагу використання додатньої та від'ємної півхвилі змінного струму.

Перетворювач енергії змінного струму в енергію постійного струму має менші пульсації, меншу кількість конденсаторів, контроль потоку активної і реактивної потужності між мережею і перетворювачем, низькі гармонійні спотворення струму, контроль коефіцієнта потужності зміщення і компенсацію реактивної потужності.

Робота перетворювача енергії змінного струму в енергію постійного струму в основному полягає в підтримці рівня напруги на шині постійного струму на бажаному опорному значенні, для цього використовується контур керування.

Напруга постійного струму вимірюється і порівнюється з еталонним значенням V_{ref} для отримання сигналу помилки, який слугує новим еталоном для внутрішнього контуру керування, що відповідає за зміну поведінки вмикання/вимикання транзисторів.

Перетворювач енергії змінного струму в енергію постійного струму розрахований на напругу постійного струму (V_{dc}) 800 В, потужність 50 кВт. Для електропостачання використовується трансформатор потужністю 75 кВА зі з'єднанням зірка-трикутник з напругою первинної обмотки 6,3 кВ, а вихідна напруга була дорівнює 380 В середньоквадратичного значення від лінії до лінії у вторинній обмотці розділового трансформатора.

Для перетворювача енергії змінного струму в енергію постійного струму використовуються біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT), завдяки їхній енергоємності на відносно високих частотах і зменшеному часу перемикання.

Для імітаційної моделі удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля використаємо технічні характеристики транзисторної збірки Semikron, модель SKiiP 613 GD123-3DUL V3, яка підтримує необхідні для роботи перетворювача напругу і струм, а також відповідну частоту перемикання.

Елемент, який відповідає за зменшення коливань вихідної напруги перетворювача енергії змінного струму в енергію постійного струму, зазвичай складається з набору конденсаторів з певними технічними характеристиками і використовується як проміжне коло між двома колами в силовій електроніці у відповідності до рисунку 3.1.

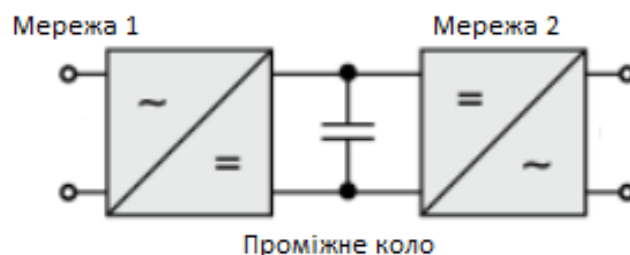


Рисунок 3.1 – Конденсатор зв'язку [20]

Для розрахунку конденсаторів шини постійного струму існують різні критерії для їх вибору, одним з них є мінімальний бажаний рівень пульсацій напруги на шині постійного струму.

Використаємо критерій отримання напруги пульсацій, що відповідає 1% від напруги на шині постійного струму у відповідності до рівняння (3.1).

$$\Delta V_{dc} = 0,01 \cdot V_{dc}. \quad (3.1)$$

Напруга пульсацій шини постійного струму є функцією струму і конденсатора, а також частоти перемикавання (f_{sw}), у відповідності до рівняння (3.2).

$$C \geq \frac{T_{sw}}{2\Delta V_{dc}} i_{dc} \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2} m_a\right), \quad (3.2)$$

де m_a - індекс модуляції, який визначає область роботи і визначається рівнянням (3.3).

$$m_a = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot V_{ff}}{\sqrt{3} \cdot V_{dc}}, \quad (3.3)$$

де i_{dc} - струм у ланці постійного струму потужністю 50 кВт і напругою $V_{dc} = 800$ В, обмежений батареєю конденсаторів шини постійного струму;

струм шини постійного струму при $i_{dc} = 62,5$ А;

вхідна лінійна напруга $V_{ff} = 380$ В;

T_{sw} - період максимальної частоти перемикавання, на якій працює напівпровідникова матриця на частоті 15 кГц [21].

З точки зору безпечної експлуатації було обрано значення 5 кГц, застосування цих значень в рівняннях (3.2) і (3.3) дає $m_a = 0,77$, що знаходиться в зоні лінійної модуляції та значенням мінімальної ємності $C=260$ мкФ.

Після того, як визначено мінімальне значення ємності для забезпечення бажаної напруги пульсацій, важливо вибрати конденсатори, які витримують струм, коли вони піддають енергію від перетворювача до навантаження постійного струму.

Для оцінемо середньоквадратичний струм в еквівалентному конденсаторі за допомогою рівняння (3.4).

$$I_{c(rms)} = \hat{i}_{a1} \cdot \sqrt{\frac{\sqrt{3}m_a}{4\pi} + \left(\frac{\sqrt{3}m_a}{\pi} + \frac{9m_a^2}{16}\right) \cdot \cos(\varphi_0)^2}, \quad (3.4)$$

де $\hat{i}_{a1} = 107,43$ А - піковий фазний струм випрямляча при номінальній потужності;

$\cos(\varphi_0) = 0,95$ - коефіцієнт зміщення, який містить кут зсуву фаз між струмом і напругою джерела живлення, з оціночним значенням, що дає струм 97,35 А.

Вибиремо конденсатор на напругу 450 В з допуском 20% та ємністю 8200 мкФ, який підтримує струм пульсацій 34 А для частот вище 3 кГц [22]. З цих даних випливає, що для отримання напруги 800 В ми повинні з'єднати два конденсатори послідовно і два конденсатори паралельно, щоб підтримувати струм.

Виберемо балансний резистор для того, щоб напруги на кожному конденсаторі були збалансовані. Для вибору балансного резистора є кілька варіантів.

В довіднику [23] зазначено, що потужність резисторів повинна бути обмежена, щоб уникнути перегріву, виходячи з цього вибирається максимум 10 Вт на резистор, що призводить до значення 28125 Ом.

Підключення конденсаторів і резисторів показано на рисунку 3.2.

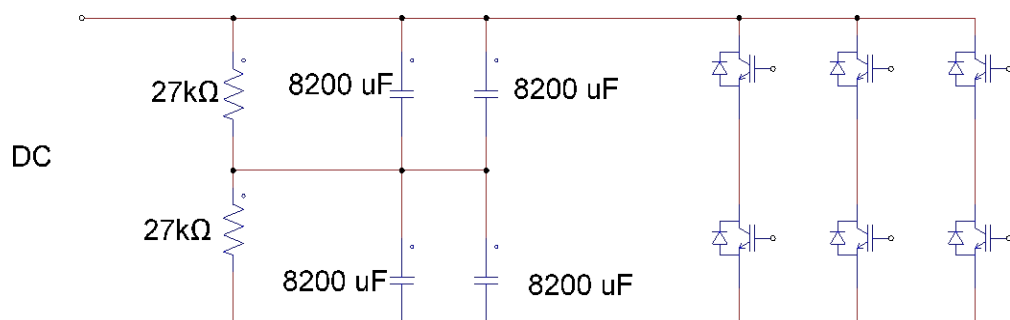


Рисунок 3.2 - Підключення конденсаторів і резисторів

LCL-фільтр може бути необхідним, а може і не бути необхідним через умови якості електроенергії, в яких буде експлуатуватися зарядна станція. Використаємо LCL-фільтр, який значно покращує якість електроенергії.

LCL-фільтр має кращі характеристики у порівнянні з іншими типами фільтрів, таких як індуктивні фільтри або фільтри типу LC. Тому що він має нижчий коефіцієнт загальних гармонійних спотворень, менші розміри і вагу, має більшу фільтруючу здатність і нижче падіння напруги на фільтрі.

Значення індуктивності послідовно з'єднаних індуктивностей зменшуються, що дозволяє їм працювати з меншими індексами модуляції, що покращує форму сигналу струму. Цей тип фільтру має деякі недоліки, наприклад, економічні аспекти.

На рисунку 3.3 показана конфігурація LCL-фільтра, яка складається з індуктивності, підключеної до виходу інвертора, конденсатора, підключеного паралельно джерелу з його демпфуючим резистором, і другої індуктивності, підключеної до виходу інвертора.

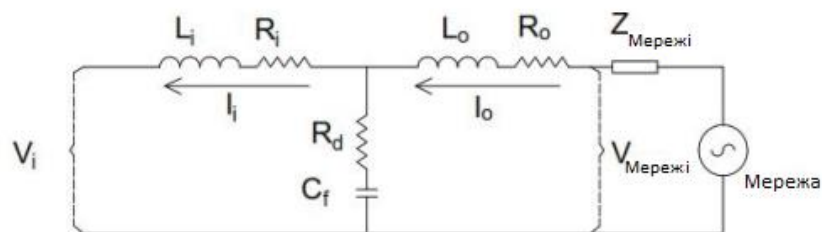


Рисунок 3.3 - Конфігурація LCL-фільтра

При проектуванні LCL-фільтра слід враховувати досягнення максимального рівня фільтрації без створення проблем для перетворювача, межі гармонійних спотворень наведені в стандартах IEEE 1547 і IEC 61000-4-5.

Для використання методів демпфування необхідно знайти резонансну частоту між частотою мережі та частотою комутації. Резонансна частота повинна бути в десять разів більшою за частоту мережі та вдвічі меншою за частоту комутації.

Падіння напруги на індуктивності не повинно бути високим, зазвичай вибирають значення 0,1 р.и. Конденсатор повинен бути ємністю у відсотках від 5% ємності бази, щоб струми I_i та I_o були майже рівними. Звідси можна визначити значення індуктивності.

$$L_i \leq \frac{0,05 \cdot V_u \cdot m_a}{\Delta i_{f_{ase}} \cdot f_{sw}}, \quad (3.5)$$

де $V_u = 380$ В - напруга живлення;

$m_a = 0,77$ – індекс модуляції;

$\Delta i_{f_{ase}} = 5,3$ А – пульсація струму 5% від пікового номінального струму зі значенням 107,43 А;

$f_{sw} = 5$ кГц - частота комутації.

В результаті підстановки значень у вираз (3.5) отримаємо $L_i = 0,55$ мГн. Вважається, що L_o споживає від 10% до 20% реактивної потужності, яка споживає L_i і буде знаходитись між 55 мкГн і 110 мкГн. Оберемо проміжне значення 80 мкГн.

Конденсатор C_f є функцією індуктивності та резонансної частоти. Рівняння (3.6) використовується для знаходження частоти, а рівняння (3.7) - для ємності.

$$10 \cdot f_{red} < f_o < \frac{1}{2} \cdot f_{sw}, \quad (3.6)$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L+L_o}{L \cdot L_o \cdot C_f}}. \quad (3.7)$$

Звідси маємо, що частота буде знаходитися між значеннями 600 Гц і 2500 Гц, вибравши проміжне значення 1500 Гц, підставивши це значення і вже знайдені значення індуктивності, отримуємо ємність $C_f = 308,87$ мкФ.

Для зменшення резонансного ефекту, який розраховується за формулою (3.8), рекомендується вмикати послідовно з конденсатором резистор.

$$R_d = \frac{1}{3} \frac{1}{2\pi f_o C_f}. \quad (3.8)$$

Отримавши $R_d = 0,24$ Ом, рівняння (3.9) використовується для визначення струму.

$$i_f = \frac{\frac{380}{\sqrt{3}}}{\frac{1}{2\pi f_{\text{мережі}} C_f}}. \quad (3.9)$$

В результаті обчислення отримуємо $i_f = 24,81$ А.

3.2 Імітаційне моделювання процесу керування зарядною станцією електромобіля в середовищі PSIM

З метою забезпечення належних умов для роботи на номінальній потужності, а також для подавлення високих струмів, що виникають в перехідних режимах пуску, необхідно передбачити тимчасове підключення резисторів, які обмежують струм на час заряду конденсаторів.

Після закінчення цього часу ці резистори відключаються шляхом електричного шунтування, щоб не усувати ці резистори в усталених режимах. Існує кілька методів перетворення змінного струму в постійний.

Оберемо метод індексу стабільності напруги (англійською мовою - Voltage Stability Index VSI), який керується ШІМ сигналом. Метод VSI дозволяє розрахувати числовий показник, який показує рівень стабільності напруги в конкретній точці або ділянці мережі.

Чим ближче цей показник до критичного значення (зазвичай 0), тим вища ймовірність нестабільності. Цей метод широко застосовується в інженерних дослідженнях електроенергетичних систем і автоматизації управління мережами.

Процес керування зарядною станцією електромобіля пояснюється структурною схемою, яка зображена на рисунку 3.4.

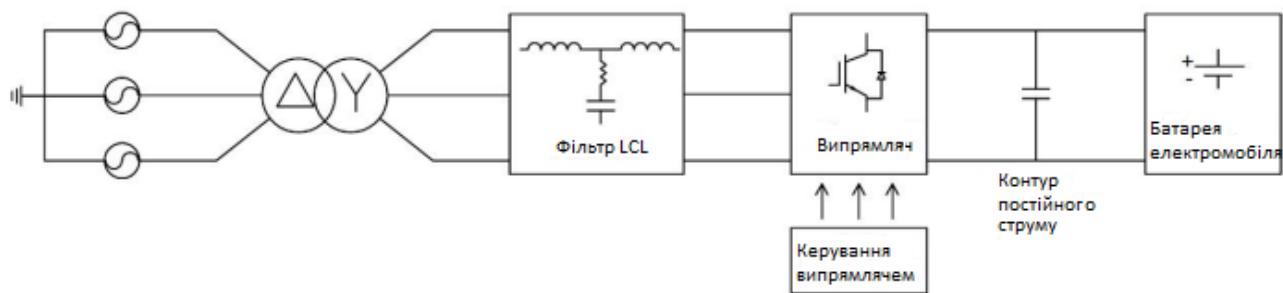


Рисунок 3.4 - Структурна схема керування зарядною станцією електромобіля

Для керування зарядною станцією електромобіля використовується синхронна система відліку dq (перетворення Парка) та широтно-імпульсний модулятор ШІМ.

Для низькорівневого керування використовується каскадна топологія керування, яка складається з внутрішнього контуру для керування струмом, як постійним, так і квадратурним, та зовнішнього контуру для керування напругою постійного струму.

Для контурів керування змінним струмом використовується перетворення Кларка, яке перетворює електричні змінні трифазної системи (a, b, c) у двовимірну систему з фіксованими координатами ($\alpha, \beta, 0$).

Друге перетворення, відоме як перетворення Парка, застосовується до цього перетворення шляхом переходу від нерухомих осей ($\alpha, \beta, 0$) до системи осей, що обертаються ($d, q, 0$).

У програмному забезпеченні PSIM є блок, який дозволяє здійснювати ці перетворення. На рисунку 3.5 показана імітаційна модель удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля.

Струм фаз вимірюється для передачі на блок перетворення, що має на виході сигнали в синхронній системі відліку з осями d і q [24]. Для того, щоб мати можливість виконувати перетворення Парка, необхідно визначити кутове положення відліку для струмів, якими потрібно керувати за допомогою системи відліку dq .

Для цього використовується система фазової синхронізації з використанням методу ФАПЧ, який обчислює кут змінних мережі таким

чином, щоб одна з осей могла бути вирівняна з вектором напруги.

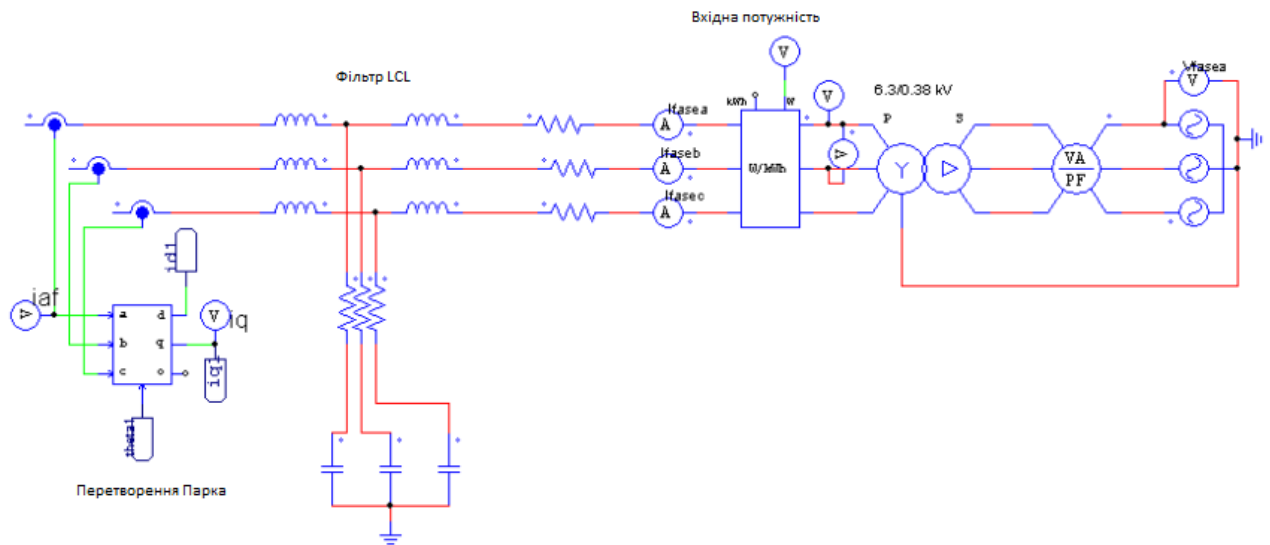


Рисунок 3.5 - Імітаційна модель удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля

ФАПЧ моделюється у вигляді пилкоподібного сигналу з амплітудою 2 зі зсувом -30° , який затримується на 30° завдяки з'єднанню трикутник-зірка.

Для системи керування є два опорних значення V_{dc} і I_q . V_{dc} - це номінальне опорне значення напруги на виході конденсатора, а I_q - це пропорційне опорне значення струму на квадратурній осі, що дозволяє визначити, скільки реактивної потужності споживає керований випрямляч.

Регулювання квадратурної осі змінює коефіцієнт потужності зміщення (fp), параметри V_a , V_b , V_c , i_a , i_b , i_c мережі і V_{cd} використовуються в якості зворотного зв'язку, як показано на рисунку 3.6.

Для налаштування контурів, які використовуються для керування, застосовується моделювання малих сигналів. Для усунення взаємозв'язку між поточними змінними \hat{i}_d та \hat{i}_q використовується метод розв'язки з використанням рівнянь (3.10) і (3.11).

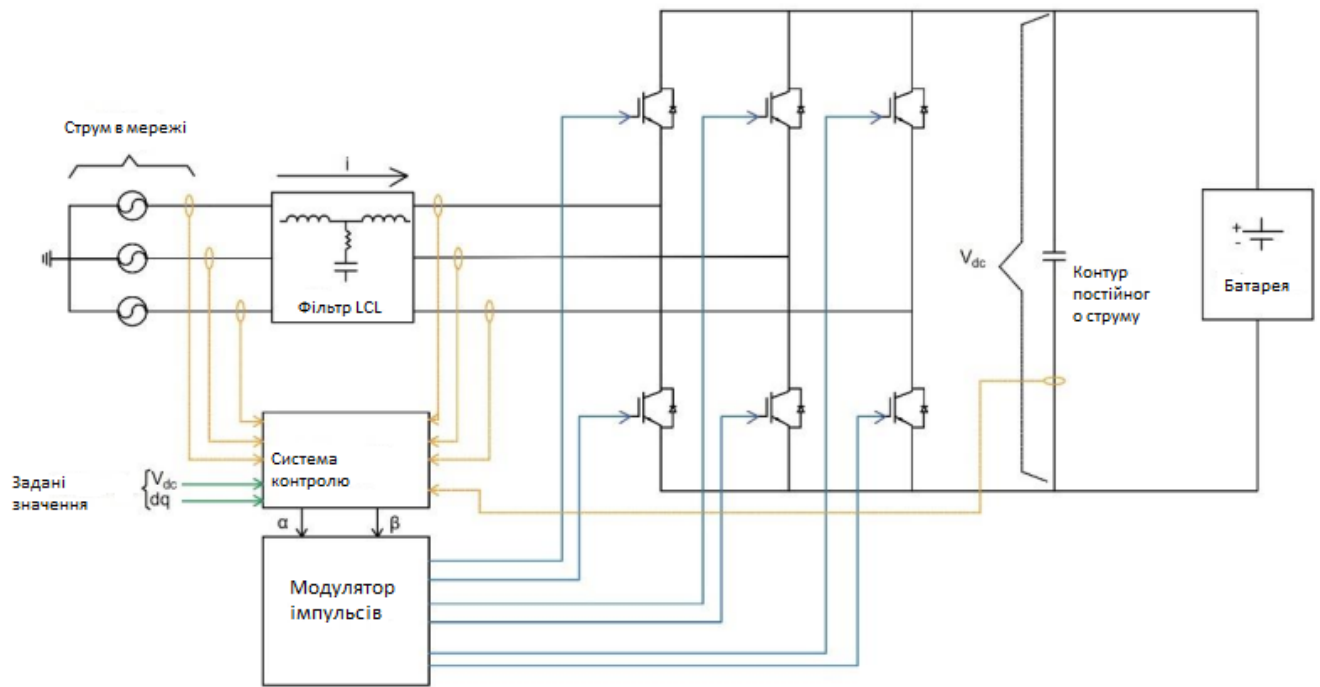


Рисунок 3.6 – Структурна схема удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля

$$\frac{\hat{i}_d}{d_d} = \frac{V_{dc}}{sL + r_{\text{мережі}}}; \quad (3.10)$$

$$\frac{\hat{i}_q}{d_q} = \frac{V_{dc}}{sL + r_{\text{мережі}}}; \quad (3.11)$$

де V_{dc} - напруга шини постійного струму;

L - можна наближено визначити як індуктивність LCL-фільтра на стороні перетворювача;

$r_{\text{мережі}}$ - опір, пов'язаний з індуктивностями.

Ці рівняння мають характеристики першого порядку з визначеним полюсом, параметри залежать від робочої точки та пасивних елементів системи. На рисунку 3.7 зображена структурна схема регулювання струмів у координатах $d-q$.

Схема служить для регулювання струмів у координатах $d-q$, щоб забезпечити підтримання бажаної напруги постійного струму та керування потоком енергії.

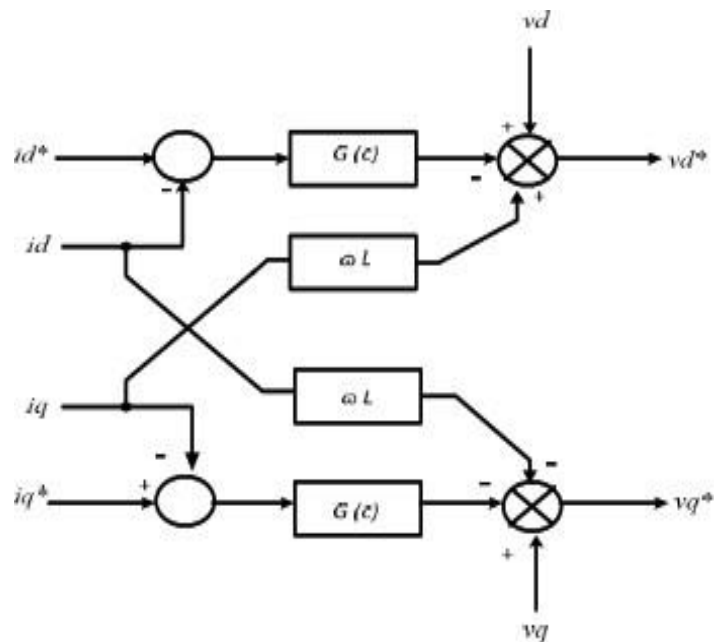


Рисунок 3.7 - Структурна схема регулювання струмів у координатах d - q

В процесі регулювання струмів у координатах d - q використовуються опорне значення i_d^* для активної складової струму, яке використовується для підтримки постійного вихідного рівня напруги.

Опорне значення i_q^* використовується для реактивної складової струму. Струми i_d , i_q - фактичні значення струмів у координатах d - q , отримані з трифазних струмів з використанням перетворення Кларка та Паркера.

Різниця між опорними та реальними струмами формує сигнал помилки для кожної компоненти. Регулятори струму $G(s)$ забезпечують стабільну динаміку системи.

Через взаємодію фаз з'являються перехресні зв'язки між d та q компонентами, які залежать від індуктивності L і кутової частоти ω частоти живлення мережі).

Для компенсації цих зв'язків у сигнали v_d^* та v_q^* додаються та віднімаються компоненти ωL . Вихідні сигнали напруг формуються з урахуванням регуляторів і компенсації перехресних зв'язків. Ці напруги перетворюються назад у трифазну систему координат (через зворотне перетворення Паркера) і використовуються для генерації ШІМ-сигналів.

На рисунку 3.8 (а) показано представлення блоку керування для прямого струму осі, а на рисунку 3.8 (б) - для квадратурного струму осі.

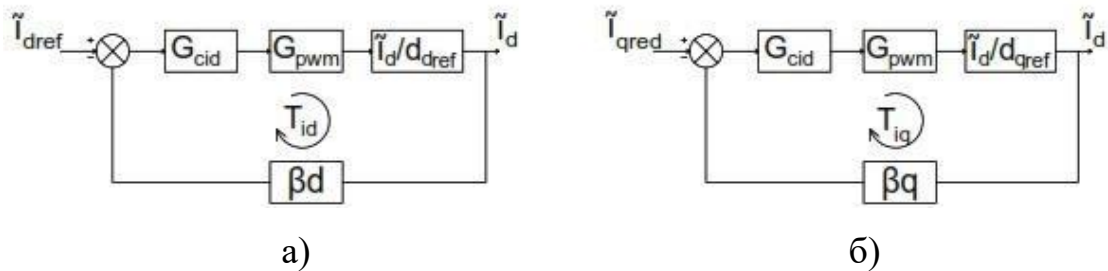


Рисунок 3.8 – Структурні схеми блоків керування струмами:

а) блок керування для прямого струму осі;

б) блок керування для квадратурного струму осі

На рисунку 3.8 позначено G_{cid} і G_{ciq} - передавальні функції контролерів, β_d і β_q - коефіцієнти підсилення, пов'язані з вимірюваннями струму, які компенсуються. Коефіцієнт підсилення ШІМ розраховується за рівнянням (3.12).

$$G_{pwm} = \frac{1}{V_{pp}} = 1, \quad (3.12)$$

де V_{pp} - розмах напруги трикутної хвилі на частоті перемикання, що має значення 1.

Для керування супутніми струмами використовуються класичні методи керування з реалізацією пропорційно-інтегральних (ПІ) регуляторів. Налаштування регуляторів, які представлені блоками G_{cid} та G_{ciq} , виконується шляхом призначення полюсів та нулів.

Це дозволяє отримати АЧХ з частотою зрізу, меншою за половину частоти комутації. Також це дозволяє отримати ФЧХ з фазовим зсувом, більшим за 50° , та коефіцієнтом підсилення, більшим за 6дБ.

За допомогою програмного забезпечення Matlab розраховано параметри ПІ-регулятора, використовуючи дані, наведені на рисунку 3.9.

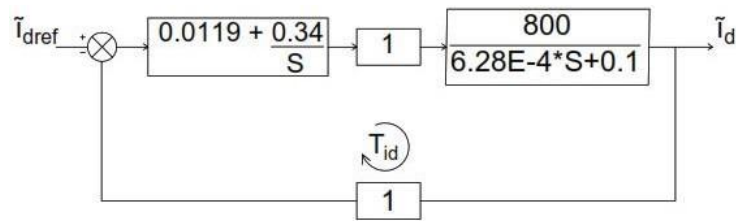


Рисунок 3.9 – Структурна схема ПІ-регулятора

В результаті імітаційного моделювання отримано значення $k_p = 0,0119$ та $k_i = 0,34$. Виконаємо дискретизацію регулятора за допомогою білінійного перетворення або перетворення Тастина. Час дискретизації для цілей керування приємо $F_s = 20$ кГц.

Для визначення передавальної характеристики ПІ-регулятора, застосуємо середовище Matlab.

```
% Параметри ПІ-регулятора
Kp = 0.0119; % Пропорційний коефіцієнт
Ki = 0.34;   % Інтегральний коефіцієнт
Fs = 20000;  % Частота дискретизації, Гц
Ts = 1 / Fs; % Період дискретизації, с

% Розрахунок коефіцієнтів чисельника передаточної функції
numerator = [(Kp + Ki * Ts), -Kp]; % Чисельник
denominator = [1, -1];           % Знаменник

% Створення передаточної функції в z-області
G_c = tf(numerator, denominator, Ts, 'Variable', 'z^-1');

% Відображення передаточної функції
disp('Передаточна функція ПІ-регулятора:');
G_c

% Побудова АЧХ і ФЧХ
figure;
subplot(2, 1, 1);
bode(G_c); % Bode-діаграма (амплітуда і фаза)
title('Bode Diagram (Radians)');
grid on;

% Перетворення частоти з радіан/зразок у герци
[mag, phase, w] = bode(G_c); % Отримання амплітуд, фаз і частот
mag = squeeze(mag);
phase = squeeze(phase);
f = w / (2 * pi * Ts); % Частота в герцах

% Побудова АЧХ у герцах
subplot(2, 1, 2);
semilogx(f, 20 * log10(mag)); % Амплітудна характеристика в dB
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Magnitude (dB)');
title('Amplitude Response (Frequency in Hz)');
grid on;
```

```

% ФЧХ
figure;
semilogx(f, phase); % Фазова характеристика
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Phase (degrees)');
title('Phase Response (Frequency in Hz)');
grid on;

```

В результаті отримаємо регулятор, який описується рівнянням і зображений на рисунку 3.10.

```

Command Window

>> H_z_1
Передавальна функція ПІ-регулятора:

G_c =

    0.01192 - 0.0119 z^-1
    -----
           1 - z^-1

Sample time: 5e-05 seconds
Discrete-time transfer function.

fx >>

```

Рисунок 3.10 – Передавальна функція ПІ-регулятора

Також за допомогою середовища Matlab отримали графіки АЧХ та ФЧХ ПІ-регулятора, які зображені на рисунку 3.11.

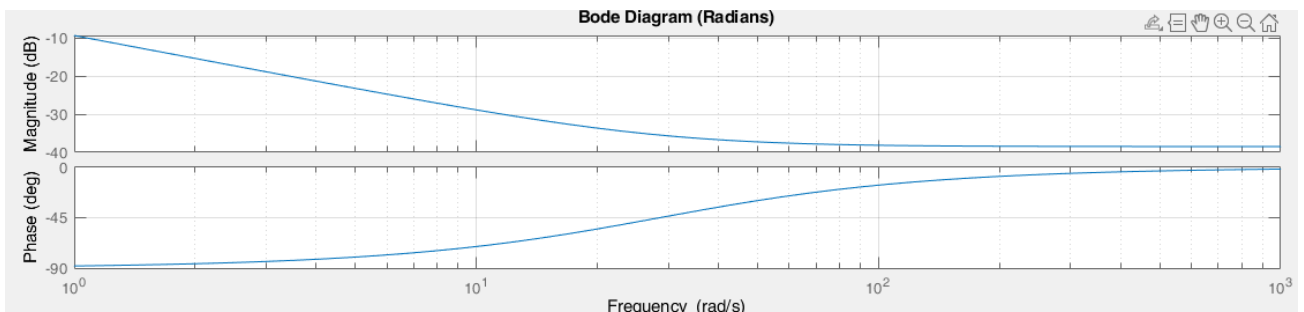


Рисунок 3.11 - АЧХ та ФЧХ ПІ-регулятора

Значення, отримані від ПІ-регулятора, мають однакове значення як для прямої осі, так і для квадратурного контуру регулювання струму, що змінюється.

На рисунку 3.12 показано схему регулювання струму, реалізовану в PSIM, де вказано, що опорна величина прямої осі дорівнює 0, блок ZOH є фіксатором нульового порядку для емуляції процесу дискретизації з обраною частотою дискретизації.

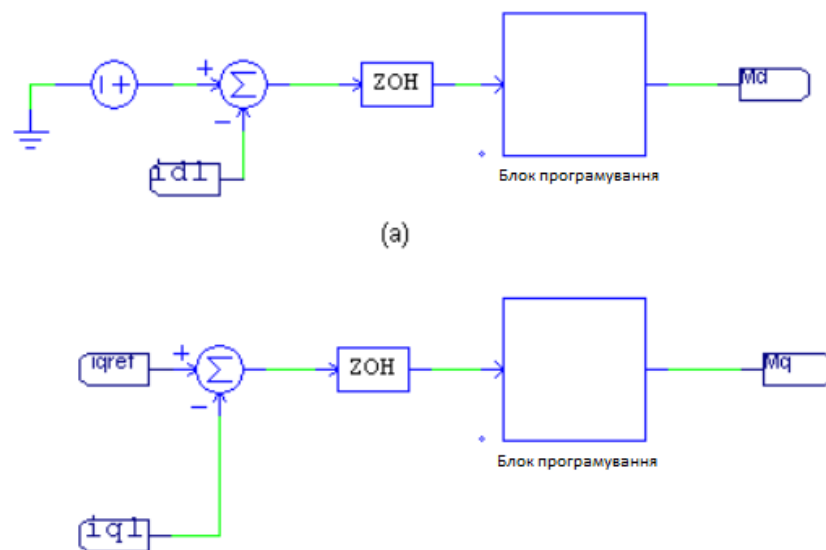


Рисунок 3.12 - Схема регулювання струму, реалізована в PSIM

У блоці програмування реалізовано контур керування для корекції похибки на основі обраної частоти дискретизації до опорного значення, використовуючи вже розраховані значення ПІ-регулятора. Для зміни квадратурної осі опорне значення регулюється за допомогою керування напругою.

Для регулювання напруги використовується шина постійного струму. Вона слугує сполучною ланкою між каскадом змінного/постійного струму та каскадом постійного/постійного струму. У шині постійного струму існує баланс між двома каскадами, де каскад АС/DC відповідає за підтримання напруги на конденсаторі, рівняння 3.13 описує енергетичний баланс.

$$\frac{CV_{DC-link}}{dt} = i_{ac/dc} - i_{dc/dc}, \quad (3.13)$$

де $i_{ac/dc}$ - збурення у вигляді варіацій струмів DC/DC перетворювача, в цьому сенсі для визначення моделі функції передачі вихідної напруги як функції квадратурного струму валу AC/DC перетворювача;

$i_{ac/dc} = d_q i_q + d_d i_d$ - варіації постійного струму, якими можна знехтувати.

$$\frac{V_{DC-link}}{i_q} = -\frac{D_q}{Cs + \frac{I_{link}}{V_{dc}}}, \quad (3.14)$$

де D_q - наближене значення індексу амплітудної модуляції m_a ;

s - оператор перетворення Лапласа.

$$D_q = \frac{2\sqrt{2}V_{fn}}{V_{DC-link}} = \frac{2\sqrt{2}\cdot 220}{800} = 0,77. \quad (3.15)$$

Налаштування контуру регулювання напруги виконується так само, як і для контуру регулювання струму. Блок керування показано на рисунку 3.13.

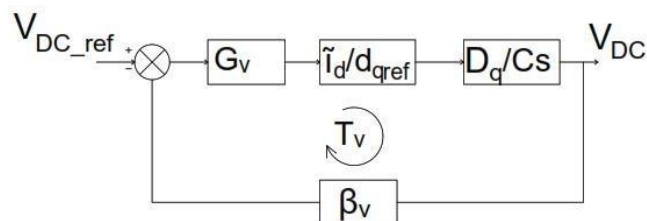


Рисунок 3.13 - Блок керування напругою

З огляду на те, що контур регулювання струму повинен діяти швидше, його коефіцієнт підсилення приймається рівним одиниці, таким же чином необхідно забезпечити, щоб коефіцієнт підсилення контуру регулювання мав одиничне значення.

Таким же чином, використовуючи програмне забезпечення Matlab, задамо частоту на декаду нижчу від тієї, що використовується в контурі струму, встановивши її на рівні 125 Гц. В результаті отримаємо значення $k_p = 8,3$ і $k_i = 332$.

```

% Параметри ПІ-регулятора
Kp = 8.3; % Пропорційний коефіцієнт
Ki = 332; % Інтегральний коефіцієнт
Fs = 20000; % Частота дискретизації, Гц
Ts = 1 / Fs; % Період дискретизації, с

% Розрахунок коефіцієнтів чисельника передаточної функції
numerator = [(Kp + Ki * Ts), -Kp]; % Чисельник
denominator = [1, -1]; % Знаменник

% Створення передаточної функції в z-області
G_c = tf(numerator, denominator, Ts, 'Variable', 'z^-1');

% Відображення передаточної функції
disp('Передаточна функція ПІ-регулятора:');
G_c

% Побудова АЧХ і ФЧХ
figure;
subplot(2, 1, 1);
bode(G_c); % Bode-діаграма (амплітуда і фаза)
title('Bode Diagram (Radians)');
grid on;

% Перетворення частоти з радіан/зразок у герци
[mag, phase, w] = bode(G_c); % Отримання амплітуд, фаз і частот
mag = squeeze(mag);
phase = squeeze(phase);
f = w / (2 * pi * Ts); % Частота в герцах

% Побудова АЧХ у герцах
subplot(2, 1, 2);
semilogx(f, 20 * log10(mag)); % Амплітудна характеристика в dB
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Magnitude (dB)');
title('Amplitude Response (Frequency in Hz)');
grid on;

% ФЧХ
figure;
semilogx(f, phase); % Фазова характеристика
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Phase (degrees)');
title('Phase Response (Frequency in Hz)');
grid on;

```

В результаті отримаємо регулятор, який описується рівнянням і зображений на рисунку 3.14. Також за допомогою середовища Matlab отримано графіки АЧХ та ФЧХ ПІ-регулятора, які зображені на рисунку 3.15.

Реалізація в Psim показана на рисунку 3.16, дуже схожа на реалізацію контуру керування струмом, еталоном є бажане значення на ланці постійного струму, в даному випадку 800 В, значення, яке було задано обмеженнями напруги зворотного зсуву для обраного напівпровідникового масиву.

```

>> H_z_1
Передаточна функція ПІ-регулятора:

G_c =

      8.317 - 8.3 z^-1
      -----
              1 - z^-1

Sample time: 5e-05 seconds
Discrete-time transfer function.

```

Рисунок 3.14 – Передавальна функція ПІ-регулятора

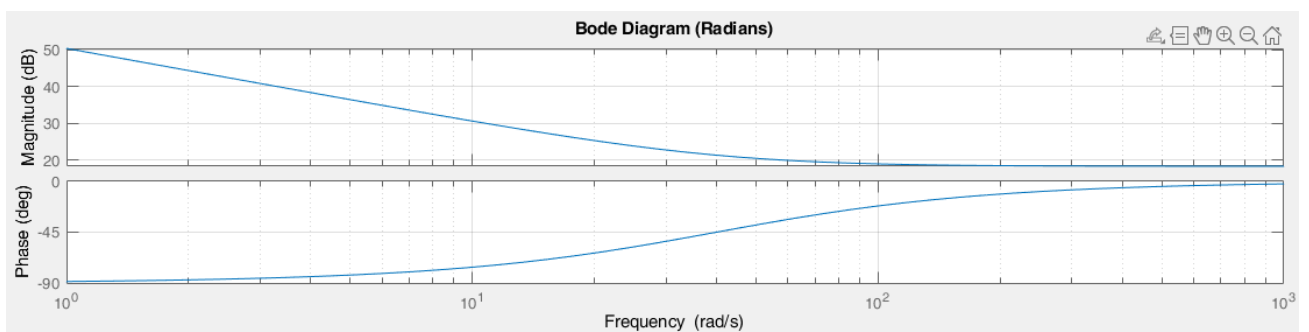


Рисунок 3.15 - АЧХ та ФЧХ ПІ-регулятора

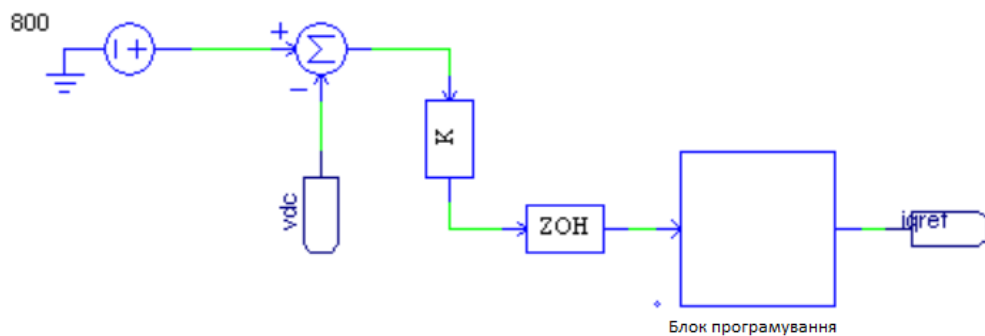


Рисунок 3.16 - Схема регулювання напруги, реалізована в PSIM

На рисунку 3.17 зображена імітаційна модель удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля. До складу імітаційної моделі удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля входить блок конденсаторів, блок силових ключів, блок вимірювання та блок оберненого перетворення системи координат векторів керування d-q у трифазну систему a, b та c.

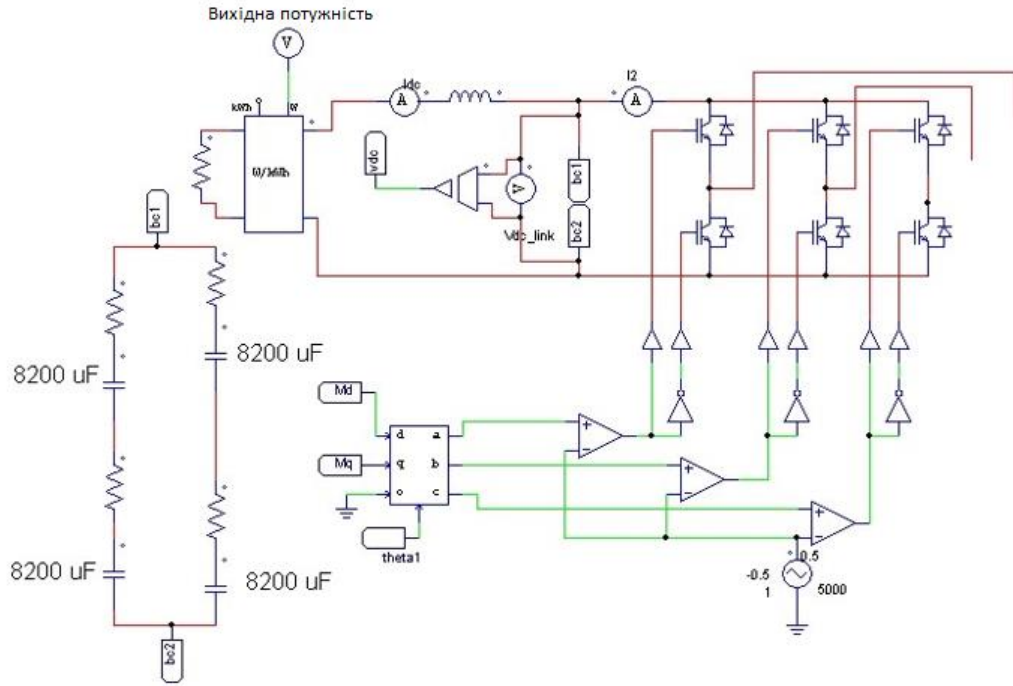


Рисунок 3.17 - Імітаційна модель удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля

На рисунку 3.18 зображено перетворювач напруги живлення змінного струму в напругу живлення постійного струму.

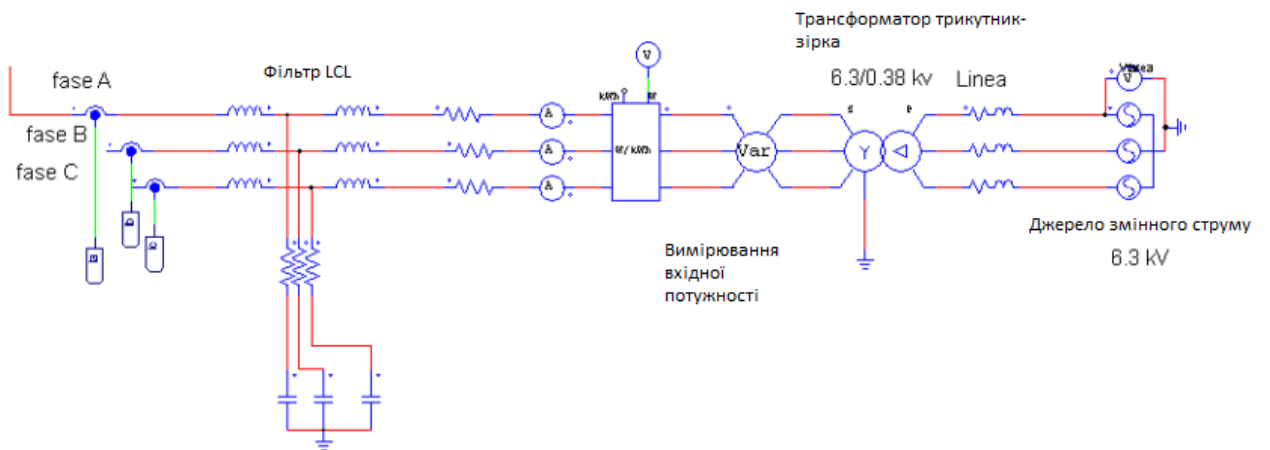


Рисунок 3.18 - Перетворювач напруги живлення змінного струму в напругу живлення постійного струму

На рисунку 3.19 показано поведінку напруги у колі постійного струму, отримані в результаті моделювання АС/DC перетворювача.

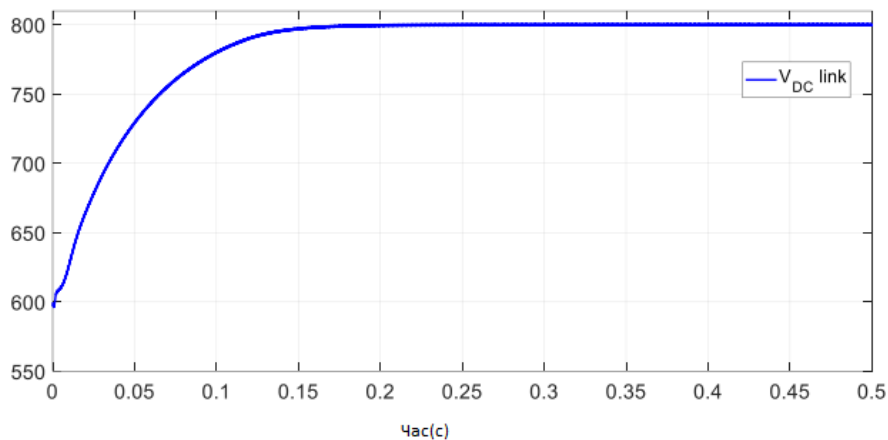


Рисунок 3.19 - Поведінка напруги у колі постійного струму

Звідси видно, що напруга у ланці постійного струму досягає бажаних 800 В постійного струму за час 0,155 с. Вимірювання активної та реактивної вхідної потужності проводиться на виході низьковольтної частини трансформатора, отримуючи активну потужність 52 кВт і реактивну потужність 14 кВАр.

Вихідна потужність вимірюється перед резистором, що імітує навантаження електромобіля, а вихідна потужність становить 50 кВт, що дає ефективність 96,15%.

3.3 Висновки до третього розділу

1. У відповідності до стандарту "IEEE Standard Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles", зарядна станція має перетворювач енергії змінного струму в енергію постійного струму. Функція перетворювача енергії змінного струму в енергію постійного струму полягає в перетворенні змінного струму з мережі в постійний струм з визначеною поведінкою з точки зору якості електроенергії, як описано в стандарті.

2. Перетворювач енергії змінного струму в енергію постійного струму є повністю керованим трифазним перетворювачем, який використовує транзистори. Перетворювач енергії змінного струму в енергію постійного струму є повномостовим перетворювачем, що має перевагу використання додатньої та від'ємної півхвилі змінного струму. Перетворювач енергії змінного струму в енергію постійного струму має менші пульсації, меншу кількість конденсаторів, контроль потоку активної і реактивної потужності між мережею і перетворювачем, низькі гармонійні спотворення струму, контроль коефіцієнта потужності зміщення і компенсацію реактивної потужності.

3. Робота перетворювача енергії змінного струму в енергію постійного струму в основному полягає в підтримці рівня напруги на шині постійного струму на бажаному опорному значенні, для цього використовується контур керування. Напруга постійного струму вимірюється і порівнюється з еталонним значенням V_{ref} для отримання сигналу помилки, який слугує новим еталоном для внутрішнього контуру керування, що відповідає за зміну поведінки вмикання/вимикання транзисторів.

4. З метою забезпечення належних умов для роботи на номінальній потужності, а також для подавлення високих струмів, що виникають в перехідних режимах пуску, необхідно передбачити тимчасове підключення резисторів, які обмежують струм на час заряду конденсаторів. Після закінчення цього часу ці резистори відключаються шляхом електричного шунтування, щоб не усувати ці резистори в усталених режимах. Існує кілька методів перетворення змінного струму в постійний.

5. Для керування зарядною станцією електромобіля використовується синхронна система відліку dq (перетворення Парка) та широтно-імпульсний модулятор ШІМ. Для низькорівневого керування використовується каскадна топологія керування, яка складається з внутрішнього контуру для керування струмом, як постійним, так і квадратурним, та зовнішнього контуру для керування напругою постійного струму.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ КЕРУВАННЯ ЗАРЯДНОЮ СТАНЦІЄЮ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

4.1 Особливості експериментального дослідження удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля

Експериментальне дослідження удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля будемо виконувати за допомогою програмного середовища Matlab/Simulink.

На рисунку 4.1 зображена імітаційна модель зарядної станції електромобіля у програмному середовищі Matlab/Simulink.

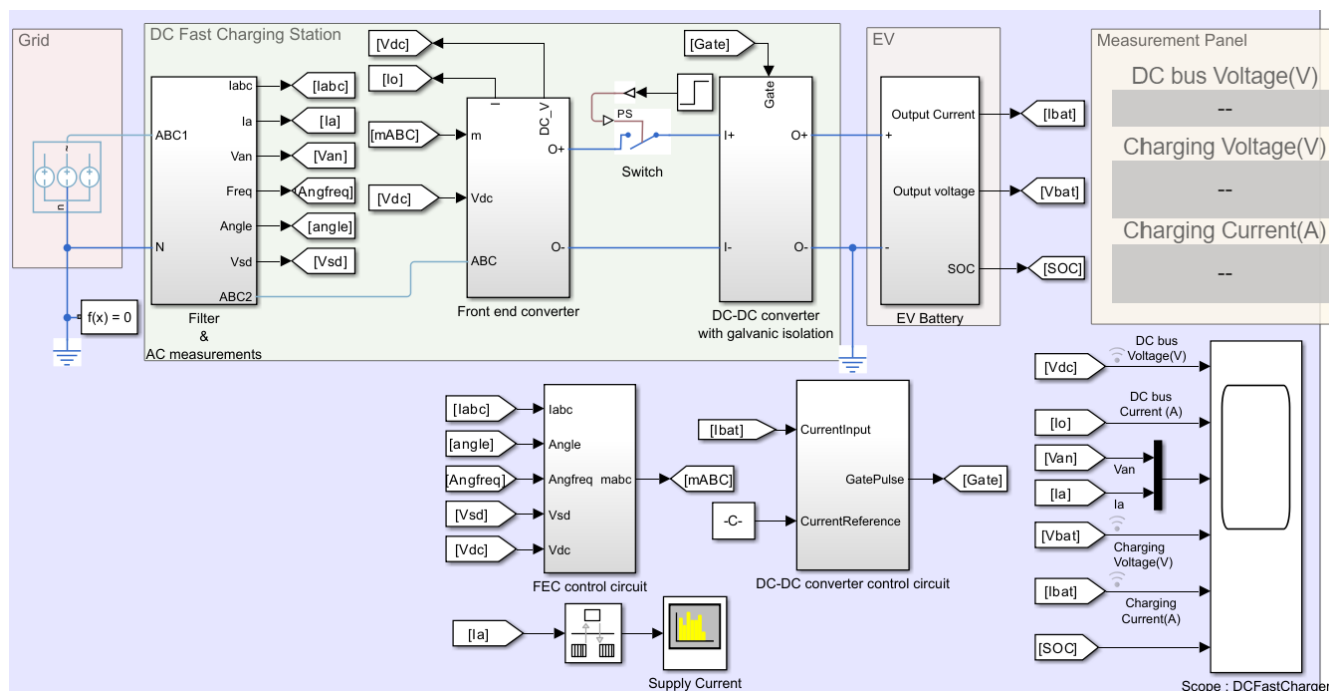


Рисунок 4.1 - Імітаційна модель зарядної станції електромобіля у програмному середовищі Matlab/Simulink

До складу імітаційної моделі зарядної станції електромобіля у програмному середовищі Matlab/Simulink входить блок Grid (Мережа), який моделює трифазну мережу змінного струму і зображений на рисунку 4.2.

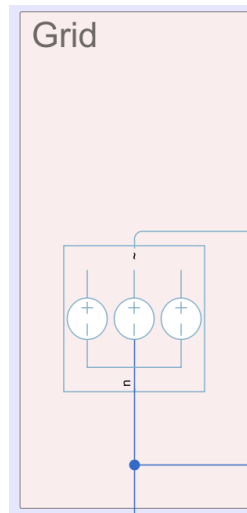


Рисунок 4.2 - Блок Grid (Мережа), який моделює трифазну мережу змінного струму

Блок Grid (Мережа) моделює ідеальне трифазне джерело напруги, яке підтримує зазначену величину синусоїдальної напруги на його клеммах, незалежно від струму, що протікає через джерело.

Ідеальне трифазне джерело має зіркоподібну (wye) конфігурацію. У зірковій схемі три обмотки джерела з'єднані так, що один із кінців кожної обмотки з'єднаний разом у спільну точку, яка називається центром зірки або нейтраллю. Інші кінці обмоток утворюють три вихідні лінії (фази), які зазвичай позначаються як A, B і C.

Порт n під'єднаний до центру зірки, через порт n можна отримати доступ до нейтралі (спільної точки з'єднання трьох фаз). Нейтраль зазвичай використовується для забезпечення симетричного розподілу напруги або створення можливості для однофазного підключення.

У програмному забезпеченні Simscape Electrical, можна підключати фази трифазної системи з використанням композитного трифазного порта. Композитні трифазні порти визначають три окремі порти електроенергії з одним блоковим портом.

Композитні трифазні порти можна використовувати для побудови моделей, що відповідають однолінійним схемам трифазних електричних систем. Замість

того, щоб явно з'єднувати кожну фазу трифазної системи між блоками, з'єднуються всі три фази за допомогою одного порту у відповідності до рисунку 4.3.

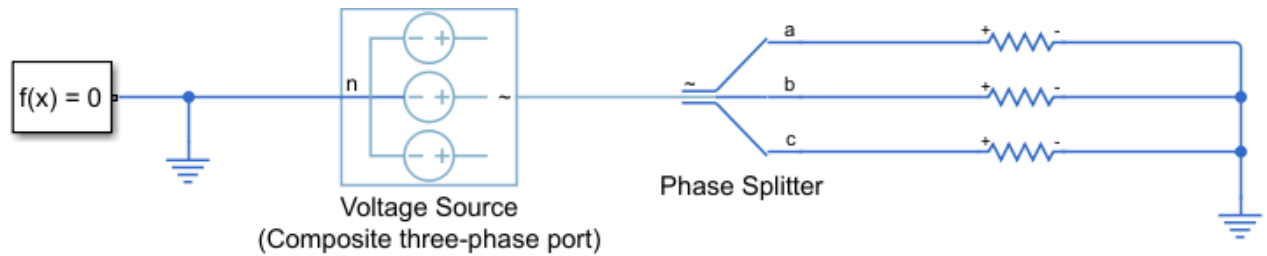


Рисунок 4.3 - Композитний трифазний порт

Параметри ідеального трифазного джерела напруги задаються у вікні користувача, яке зображене на рисунку 4.4.

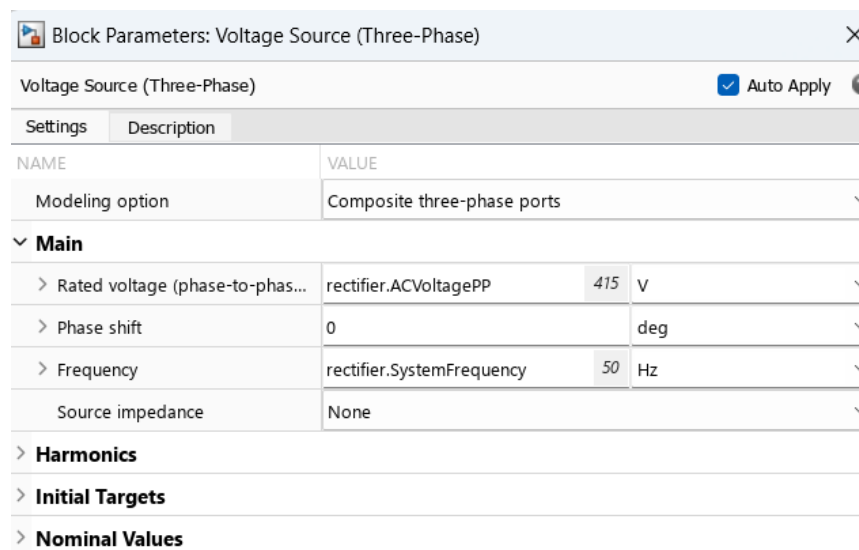


Рисунок 4.4 - Параметри ідеального трифазного джерела напруги

Параметр $\text{rectifier.ACVoltagePP}=415 \text{ V}$ задає вхідну напругу для випрямляча в трифазній системі, який працює на лінійній напрузі 415 В. Якщо лінійна напруга становить 415 В, то фазна напруга (між фазою і нейтраллю) буде:

$$V_{PN} = \frac{V_{PP}}{\sqrt{3}} = \frac{415}{\sqrt{3}} \approx 240 \text{ В.} \quad (4.1)$$

Далі напруга ідеального трифазного джерела напруги подається на блок Filter & AC measurements (Фільтр і вимірювання параметрів змінної напруги та струму) у відповідності до рисунку 4.5

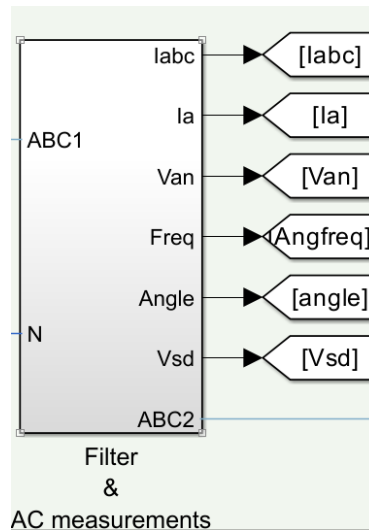


Рисунок 4.5 - Блок Filter & AC measurements (Фільтр і вимірювання параметрів змінної напруги та струму)

Блок Filter & AC measurements (Фільтр і вимірювання параметрів змінної напруги та струму) реалізовано у вигляді підсистеми, яка зображена на рисунку 4.6.

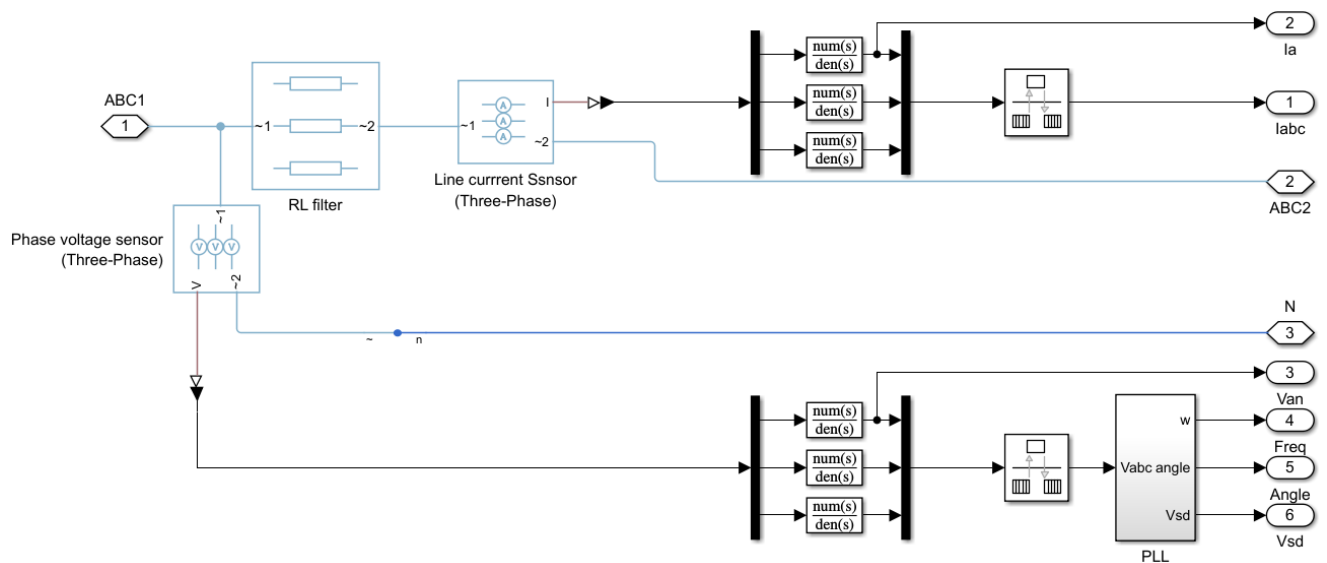


Рисунок 4.6 - Підсистема блоку Filter & AC measurements

До складу підсистеми блоку Filter & AC measurements входить блок Phase Voltage Sensor (Three-Phase) (Трифазний датчик напруги), який зображений на рисунку 4.7.

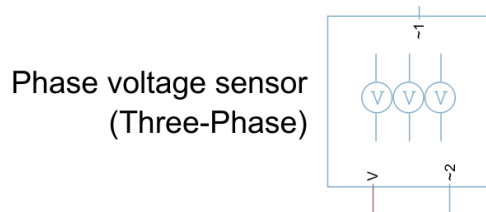


Рисунок 4.7 - Блок Phase Voltage Sensor (Three-Phase) (Трифазний датчик напруги)

Блок Phase Voltage Sensor (Three-Phase) (Трифазний датчик напруги) вимірює напругу трифазного порту ~ 1 і виводить один трьохелементний, фізичний вектор сигналу. Кожен елемент фізичного вектора сигналу на виході дорівнює напрузі у відповідній фазі.

Також до складу підсистеми блоку Filter & AC measurements входить блок RL filter (RL фільтр), який зображено на рисунку 4.8.

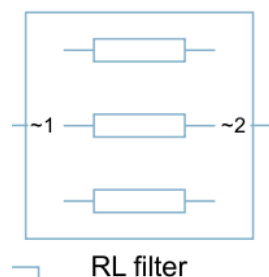


Рисунок 4.8 - Блок RL filter (RL фільтр)

Блок RL filter (RL фільтр) моделює трифазний імпеданс з двома трифазними з'єднаннями. Кожен з трьох однакових імпедансів компоненти можуть включати будь-яку комбінацію резистора (R) і котушки індуктивності (L), з'єднані послідовно або паралельно у відповідності до рисунку 4.9.

На рисунку 4.10 зображено інтерфейс завдання параметрів блоку RL filter (RL фільтр) для компонентів R і L.

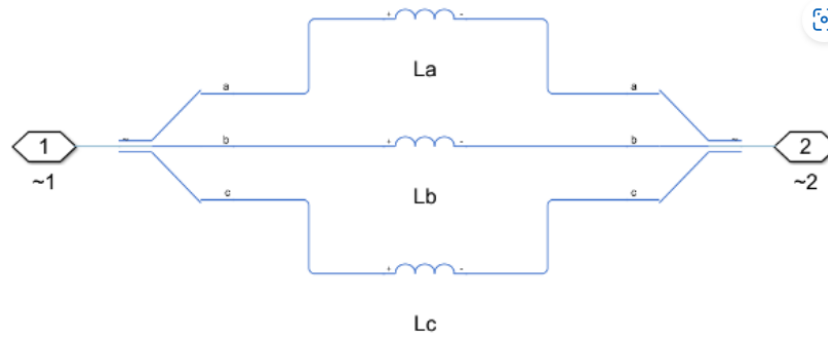
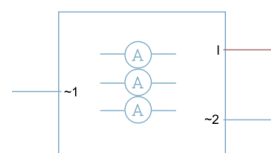


Рисунок 4.9 – Структура блоку RL filter (RL фільтр)

Block Parameters: RL filter	
RLC (Three-Phase) <input checked="" type="checkbox"/> Auto Apply	
Settings	Description
NAME	VALUE
Main	
Electrical connection	Composite three-phase ports
Component structure	Series RL
> Resistance	rectifier.lineResistance 0.02 Ohm
> Inductance	rectifier.lineInductance 0.0007 H
> Parasitics	
> Initial Targets	
> Nominal Values	
> Faults	

Рисунок 4.10 – Параметри блоку RL filter (RL фільтр)

Також до складу підсистеми блоку Filter & AC measurements входить блок Line current Ssensor (Three-Phase) (Датчик трифазного струму), який зображено на рисунку 4.11.



Line current Ssensor
(Three-Phase)

Рисунок 4.11 – Блок Line current Ssensor (Three-Phase) (Датчик трифазного струму)

Блок Line current Ssensor (Three-Phase) (Датчик трифазного струму) вимірює кожен з трьох протікаючих струмів з порту ~1 на порт ~2 і виводить один

трьохелементний, фізичний вектор сигналу. Кожен елемент фізичного вектора сигналу на виході пропорційна силі струму у відповідній фазі.

До складу підсистеми блоку Filter & AC measurements входить також блок PLL (Phase-Locked Loop) (Фазова автопідстройка частоти), який зображений на рисунку 4.12.

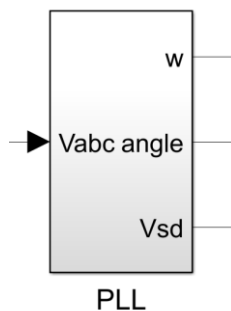


Рисунок 4.12 – Блок PLL (Phase-Locked Loop) (Фазова автопідстройка частоти)

Блок PLL (Phase-Locked Loop) (Фазова автопідстройка частоти) реалізований у вигляді підсистеми, яка зображена на рисунку 4.13.

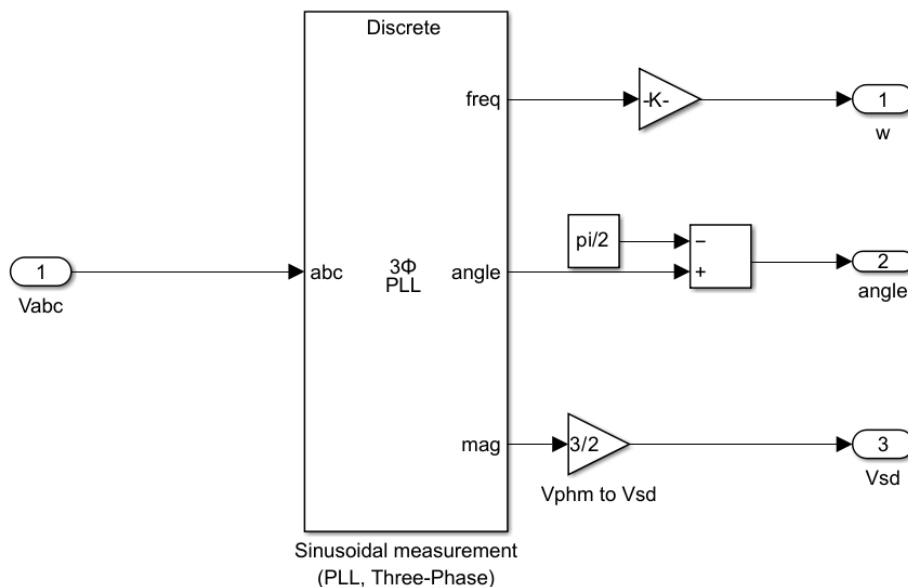


Рисунок 4.13 – Підсистема блоку PLL (Phase-Locked Loop)

Основою підсистеми блоку PLL (Phase-Locked Loop) є блок Sinusoidal measurement (PLL, Three-Phase) (Синусоїдальне вимірювання, ФАПЧ та Три-Фази). Блок Sinusoidal measurement (PLL, Three-Phase) також реалізований у вигляді підсистеми, яка зображена на рисунку 4.14.

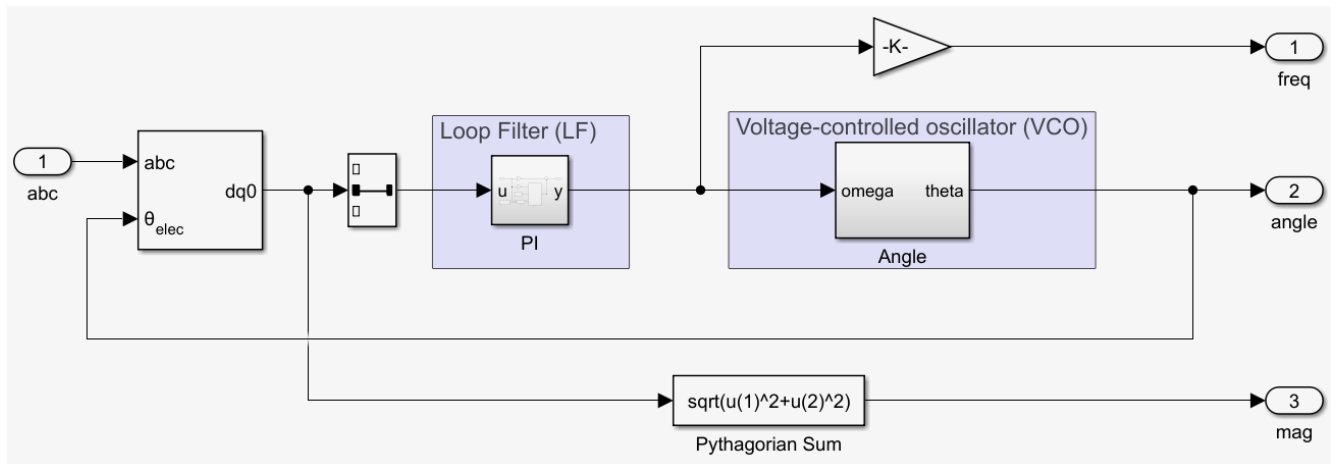


Рисунок 4.14 – Підсистема блоку Sinusoidal measurement (PLL, Three-Phase)

На вході підсистеми блоку Sinusoidal measurement (PLL, Three-Phase) розміщено блок Park Transform (Перетворення парка), який зображений на рисунку 4.15.

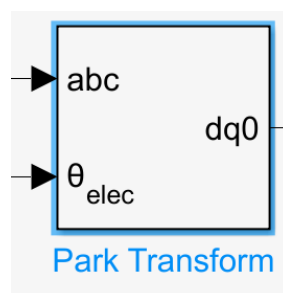


Рисунок 4.15 – Блок Park Transform (Перетворення парка)

Блок Park Transform (Перетворення парка) перетворює компоненти часової області об'єкта трифазна система в системі відліку abc до прямої, квадратурної та нуль компонентів у обертовій системі відліку. Для збалансованої системи, нульова компонента дорівнює нулю.

Наступник блоком у підсистемі Sinusoidal measurement (PLL, Three-Phase) є блок Loop Filter (LF) (Фільтр зі зворотнім зв'язком), який зображений на рисунку 4.16.

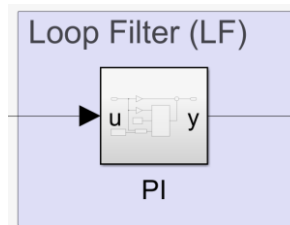


Рисунок 4.16 – Блок Loop Filter (LF) (Фільтр зі зворотнім зв'язком)

Блок Loop Filter (LF) (Фільтр зі зворотнім зв'язком) - це компонент у петлі фазового автопідстроювання частоти (PLL, Phase-Locked Loop), який використовується для згладжування вихідного сигналу фазового детектора.

Основна роль фільтра зі зворотнім зв'язком полягає у формуванні керуючого сигналу для керованого генератора напруги (VCO, Voltage-Controlled Oscillator) та забезпеченні стабільності і надійності роботи всієї системи. На рисунку 4.17 зображений блок Voltage-Controlled Oscillator (VCO) (Керований генератор напруги).

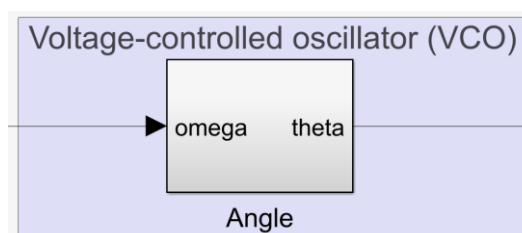


Рисунок 4.17 – Блок Voltage-Controlled Oscillator (VCO) (Керований генератор напруги)

Сигнали з виходу блока Filter & AC measurements (Фільтр і вимірювання параметрів змінної напруги та струму) поступають на вхід блока FEC control circuit (Схема керування FEC), який зображений на рисунку 4.18

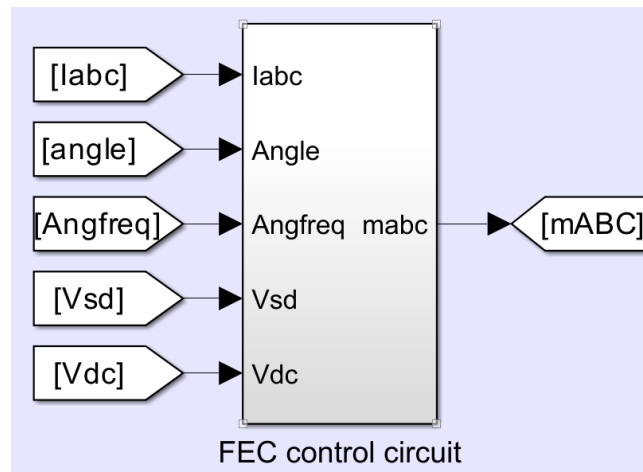


Рисунок 4.18 – Блок FEC control circuit (Схема керування FEC)

Блок FEC control circuit (Схема керування FEC) керує блоком Front End Converter (FEC) (Вхідний перетворювач), який зображений на рисунку 4.19.

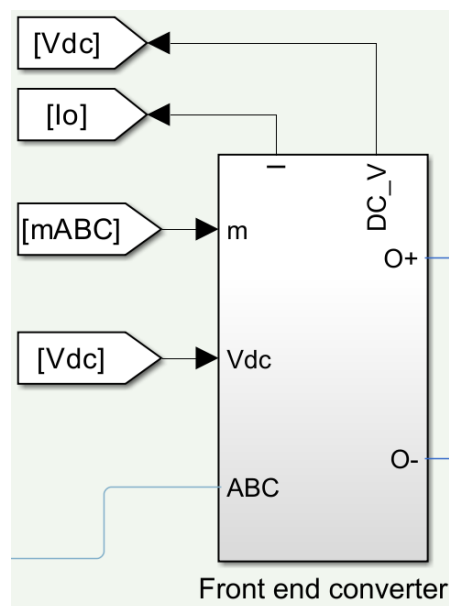


Рисунок 4.19 – Блок Front End Converter (FEC) (Вхідний перетворювач)

Front End Converter (FEC) у швидкій зарядній станції для електромобілів - це ключовий компонент системи, який виконує перетворення вхідної електричної енергії з мережі для забезпечення постійного струму (DC) потрібної напруги і потужності для зарядки батареї електромобіля.

Напруга постійного струму з виходу блока Front End Converter далі поступає на вхід блока DC-DC converter with galvanic isolation (DC-DC перетворювач із гальванічною розв'язкою), який зображено на рисунку 4.20.

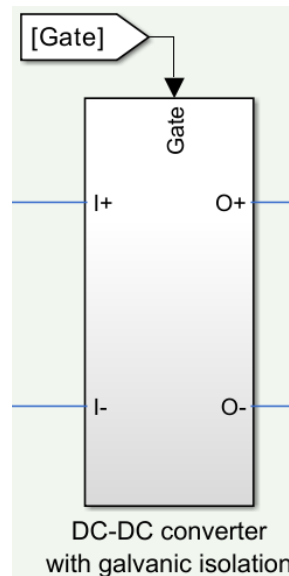


Рисунок 4.20 – Блок DC-DC converter with galvanic isolation (DC-DC перетворювач із гальванічною розв'язкою)

Керування блоком DC-DC converter with galvanic isolation (DC-DC перетворювач із гальванічною розв'язкою) здійснюється блоком DC-DC converter control circuit (Схема керування DC-DC перетворювачем), який зображено на рисунку 4.21.

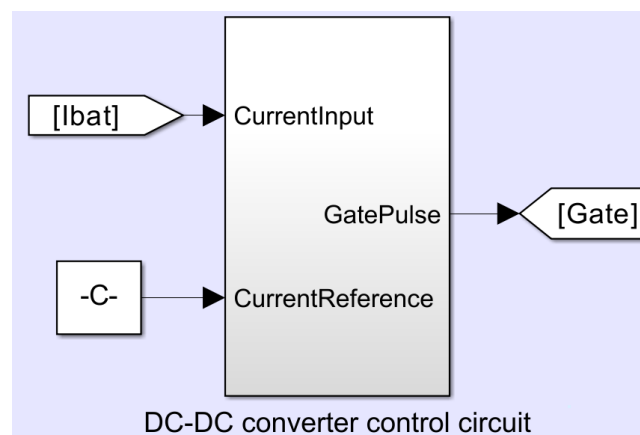


Рисунок 4.21 – Блок DC-DC converter control circuit (Схема керування DC-DC перетворювачем)

Напруга з виходу блока DC-DC converter with galvanic isolation (DC-DC перетворювач із гальванічною розв'язкою) безпосередньо поступає на блок EV Battery (Батарея електромобіля), який зображено на рисунку 4.22.

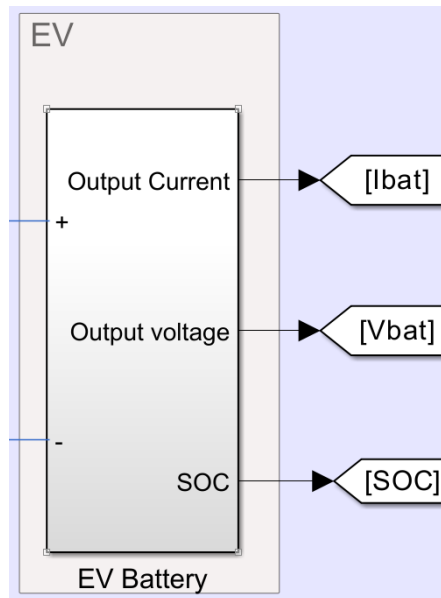


Рисунок 4.22 – EV Battery (Батарея електромобіля)

Блок EV Battery (Батарея електромобіля) моделює акумуляторні елементи, з'єднані послідовно, і датчики для вимірювання напруги на клеммах акумулятора та вихідного струму. Для батареї електромобіля з напругою 800 В та струмом 100 А потрібно 2220 батарей Panasonic NCR 18650PF, розташованих у конфігурації 222 послідовно \times 10 паралельно.

4.2 Експериментального дослідження удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля

Виконаємо експериментальне дослідження удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля. Для цього встановимо заданий зарядний струм батареї електромобіля величиною $I_{зар}=100$ А. В результаті отримаємо графік зміни напруги на виході блока Front End Converter, який зображено на рисунку 4.23.

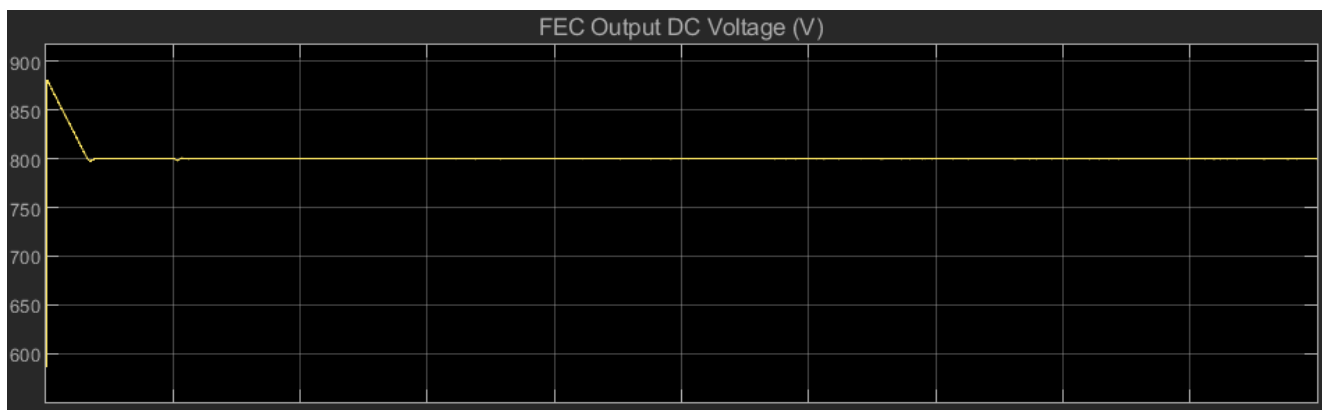


Рисунок 4.23 – Графік зміни напруги на виході блока Front End Converter

Аналізуючи графік зміни напруги на виході блока Front End Converter можна зробити висновок, що напруга на виході блока Front End Converter у момент ввімкнення сягає 880 В. Далі відбувається зменшення напруги до заданого значення напруги 800 В. На рисунку 4.24 зображено графік зміни струму на виході блока Front End Converter.

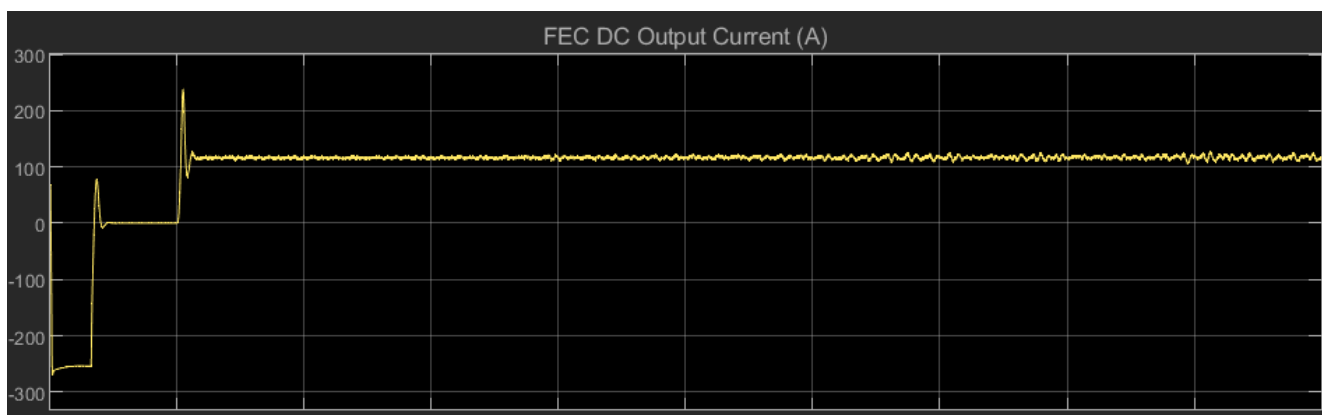


Рисунок 4.24 – Графік зміни струму на виході блока Front End Converter

Аналізуючи графік зміни струму на виході блока Front End Converter можна зробити висновок, що струм на виході блока Front End Converter у момент ввімкнення сягає -261 А. Далі відбувається збільшення значення струму до 213А, а потім відбувається зменшення струму до значення 115 А. Це пояснюється перехідними процесами, які відбуваються в момент комутації, а також часовою затримкою спрацювання системи керування.

На рисунку 4.25 зображено графіки зміни напруги та струму першої фази в трифазній системі змінного струму (позначається як фаза А).

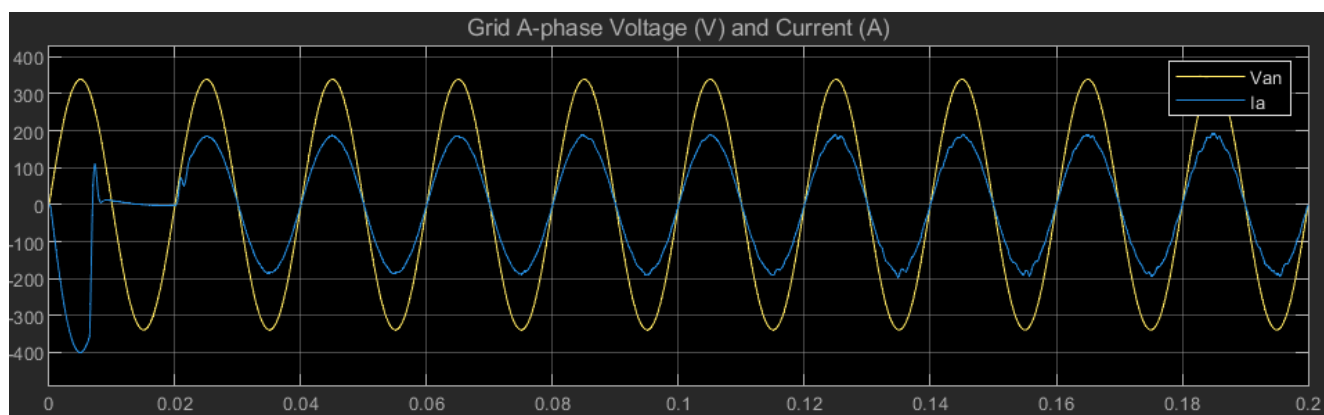


Рисунок 4.25 – Графіки зміни напруги та струму першої фази

Аналізуючи графіки зміни напруги та струму першої фази можна зробити висновок, що напруга та струм співпадає по фазі, а це означає відсутність реактивної складової. У цьому полягає суттєва перевага удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля.

На рисунку 4.26 зображено графік зміни напруги на клеммах батареї електромобіля.

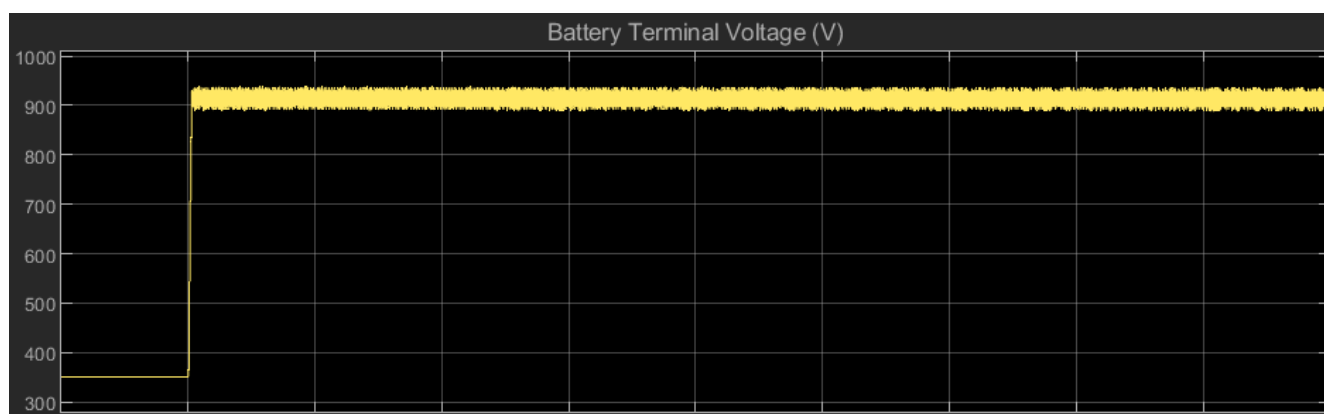


Рисунок 4.26 – Графік зміни напруги на клеммах батареї електромобіля

Аналізуючи графік зміни напруги на клеммах батареї електромобіля можна зробити висновок, що середнє значення зарядної напруги дорівнює 915 В, а

максимальні та мінімальні значення зарядної напруги відповідно дорівнюють 935 В та 903 В. Звідси можна визначити амплітуду пульсацій зарядної напруги $\Delta U = 32$ В.

На рисунку 4.27 зображено графіки зміни струму та стану заряду батареї електромобіля.

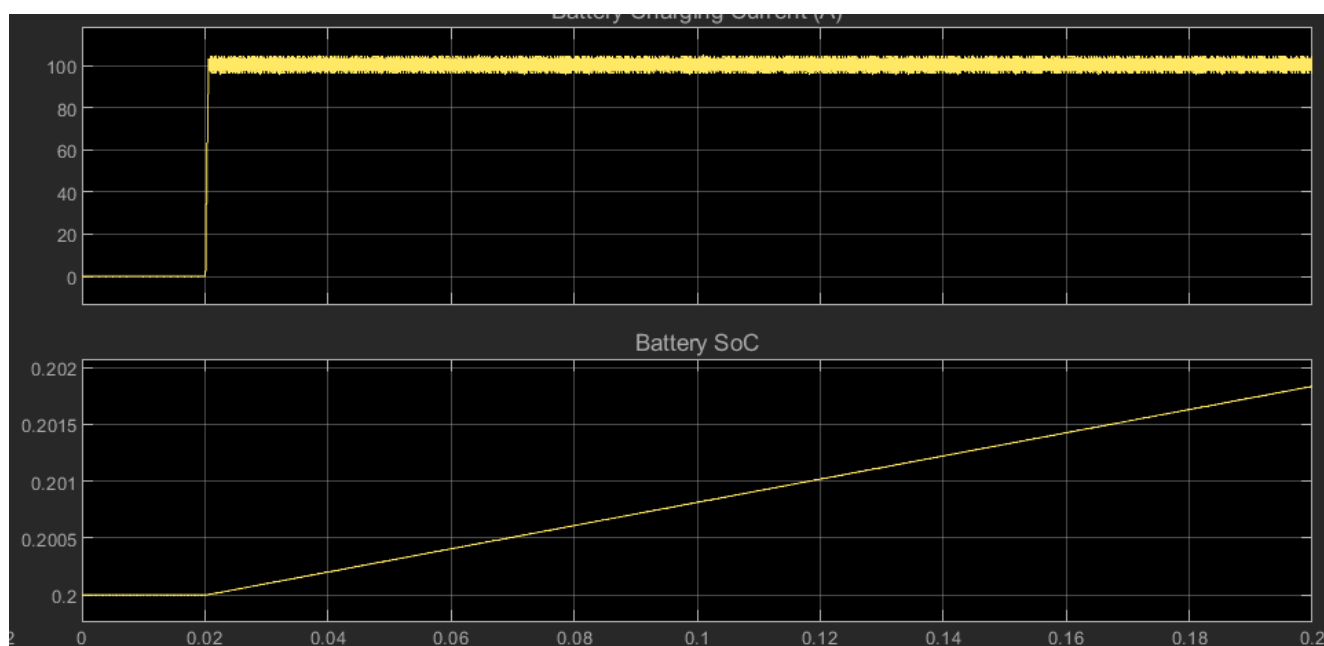


Рисунок 4.27 – Графіки зміни струму та стану заряду батареї електромобіля

Аналізуючи графіки зміни струму та стану заряду батареї електромобіля можна зробити висновок, що за допомогою удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля підтримується середнє значення зарядного струму батареї електромобіля величиною $I_{зар}=100$ А і процес зарядження батареї відбувається стабільно.

4.3 Висновки до четвертого розділу

1. Експериментальне дослідження удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля будемо виконувати за допомогою програмного середовища Matlab/Simulink.

2. Front End Converter (FEC) у швидкій зарядній станції для електромобілів - це ключовий компонент системи, який виконує перетворення вхідної електричної енергії з мережі для забезпечення постійного струму (DC) потрібної напруги і потужності для зарядки батареї електромобіля.

3. Блок EV Battery (Батарея електромобіля) моделює акумуляторні елементи, з'єднані послідовно, і датчики для вимірювання напруги на клеммах акумулятора та вихідного струму. Для батареї електромобіля з напругою 800 В та струмом 100 А потрібно 2220 батарей Panasonic NCR 18650PF, розташованих у конфігурації 222 послідовно \times 10 паралельно.

4. Аналізуючи графіки зміни напруги та струму першої фази можна зробити висновок, що напруга та струм співпадає по фазі, а це означає відсутність реактивної складової. У цьому полягає суттєва перевага удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля.

5. Аналізуючи графіки зміни струму та стану заряду батареї електромобіля можна зробити висновок, що за допомогою удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля підтримується середнє значення зарядного струму батареї електромобіля величиною $I_{зар}=100$ А і процес зарядження батареї відбувається стабільно.

ВИСНОВКИ

1. Використання станцій швидкої зарядки з перетворенням енергії змінного/постійного струму призводить до генерації гармонік і підвищених вимог до електроенергії, тому необхідно провести дослідження впливу на місце, де вони будуть встановлені.

2. У швидких зарядних станціях відбувається перетворення енергії змінного електричного струму мережі у постійний струм на виході станції, яка знаходиться ззовні транспортного засобу. У напівшвидких станціях використовується перетворювач енергії змінного електричного струму мережі у постійний струм на виході станції, який вбудований у транспортний засіб.

3. Перевагою швидких станцій є те, що вони є зовнішніми. Швидкі станції не обмежені в розмірах, тому мають елементи керування, які знижують рівень гармонік, що утворюються при перетворенні енергії змінного електричного струму мережі у постійний струм на виході станції. Іншою перевагою швидких станцій є використання фільтрів.

4. У відповідності до стандарту "IEEE Standard Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles", зарядна станція має перетворювач енергії змінного струму в енергію постійного струму. Функція перетворювача енергії змінного струму в енергію постійного струму полягає в перетворенні змінного струму з мережі в постійний струм з визначеною поведінкою з точки зору якості електроенергії, як описано в стандарті.

5. Аналізуючи графіки зміни напруги та струму першої фази можна зробити висновок, що напруга та струм співпадає по фазі, а це означає відсутність реактивної складової. У цьому полягає суттєва перевага удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля.

6. Аналізуючи графіки зміни струму та стану заряду батареї електромобіля можна зробити висновок, що за допомогою удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля підтримується середнє значення зарядного струму батареї і процес зарядження батареї відбувається стабільно.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Система зарядки електричних транспортних засобів дротова. Частина 1. Загальні вимоги. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=95965
2. Режими зарядки електромобілів. Режим доступу: <http://electromovilidad.net/modos-de-recarga-del-vehiculo-electrico/>
3. Зарядка електромобілів. Режим доступу: https://www.faen.es/batterie/Recarga_vehiculo_electrico.pdf
4. Зарядні станції Type 1. Режим доступу: <https://energyup.com.ua/zariadky-type-1-j1772/?srsltid=AfmBOoqflkTtTSya3omWZ9E-n-yXRixmKEJIYzz4yBh-kXIcLHd10HAT>
5. Асоціація CHAdeMO. Режим доступу: <https://www.chademo.com>
6. Контакти роз'єму CHAdeMO. Режим доступу: <https://www.chademo.com/technology/v2g>
7. G. A. Putrus, P. Suwanapingkarl, D. Johnston, E. C. Bentley, and M. Narayana, "Impact of electric vehicles on power distribution networks," IEEE Veh. Power Propuls. Conf., pp. 827–831, 2009.
8. L. Alexandre Fast charging diversity impact on total harmonic distortion due to phase cancellation effect experimental results. 2017.
9. ABB "Actualidad," Actualidad, vol. 27, no. 1, p. 26, 2009.
10. J.H. Lee, J.S. Moon, Y.S. Lee, Y.R. Kim, and C.Y. Won, "Fast charging technique for EV battery charger using three-phase AC-DC boost converter," IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.), pp. 4577–4582, 2011.
11. B. Jar, N. Watson and A. Miller "Rapid EV Chargers: Implementation of a Charger," EEA Conf. Exhib. 2016, 22-24 June, Wellingt., pp. 1–17, 2016.
12. Ministerio de Industria Energía y Turismo, "Estrategia de Impulso del vehículo con energías alternativas (VEA) en España" p. 12, 2015.
13. Electricridecolorado "How electric vehicles can in funding for EV infrastructure over the next four years" 2015.

14. Розробка проекту зарядних станцій для електромобілів. Режим доступу: <https://vacleancities.org/wp-content/uploads/Site-Design-for-EV-Charging-Stations-1.0.pdf>

15. Монтаж електро обладнання авто постачання. Режим доступу: <https://www.mass.gov/doc/electric-vehicle-charging-infrastructure-manual/download>

16. Розробка обладнання для обслуговування електромобілів (ООЕМ) рівня 1 та рівня 2. Режим доступу:

<https://www.mouser.com/pdfDocs/tidub87.pdf?srsltid=AfmBOooWkHKTCEcPm3UJ9rjBjihwfJy1-mNV15i6UJ3eeBpBZPHwx5PD>

17. Станція для зарядки домашніх електромобілів модель EVSE-RS. Режим доступу: <https://www.evsolutions.com/Upload/Product/636513225838506420.pdf>

18. Вивчення несправностей літій-іонних батарей. Режим доступу: <https://eepower.com/technical-articles/examining-failures-in-lithium-ion-batteries/>

19. Transportation and Technology, IEEE 2030.1.1 Standard Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles IEEE Vehicular Technology Society IEEE Standard Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles. 2015.

20. Конденсатори зв'язку. Режим доступу:

https://www.mouser.com/pdfDocs/WIMA_DC_Link_Capacitors.pdf?srsltid=AfmBOoqCRph6OMJpugbpde00QTo3x6t-nTmtLR28OcRQLpL8cqebdbm4

21. Модуль SKiiP 613 GD123-3DUW V3. Режим доступу: <https://zig.kh.ua/product/skiip-613-gd123-3duw-v3/>

22. Конденсатори U37F Series. Режим доступу:

https://www.mouser.com/datasheet/2/420/U37FN_e-2509147.pdf?srsltid=AfmBOop9Gwp5lfVF7JUne_ciLWJE_I7ZAcszNtNw8pHow7V9B08SQy5S

23. Olives J.C. Camps Control convertidor dc-ac de 100kW - Universidad Pólitecnica de Cataluña, 2014.

24. Голодюк В. С. Синхронізація та керування генерованою потужністю інверторів ФЕС за допомогою ФАПЧ та перетворення Парка [Електронний

ресурс] / В. С. Голодюк, А. М. Коваль // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р. – Електрон. текст. дані. – 2019. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2019/paper/view/7406>.

25. Станції швидкої зарядки для електромобілів - стандарти та технології. Режим доступу: <https://ecotechnica.com.ua/uk/stati/stantsii-bystroj-zaryadki-dlya-elektromobilej-standarty-i-tehnologii>

26. Як здійснюється швидка зарядка електромобіля. Режим доступу: <https://electro-mobility.com.ua/blog/yak-zdiysniuietsia-shvydka-zariadka-elektromobilija/>

27. Переваги та недоліки швидких зарядних пристроїв постійного струму для електромобілів. Режим доступу: <https://zdwl-tec.com/uk/news/advantages-and-disadvantages-of-dc-fast-chargers-for-ev/>

28. Типи зарядних станцій для електромобілів: Розмаїття можливостей для заряджання. Режим доступу: <https://tooran.com.ua/stati/tipi-zarjadnih-stancij-dlja-elektromobiliv-2.html>

29. Prabhat Srivastava, Alok Agrawal, Prerna Gaur, "Cost Optimization of EV Charging Station Integrated with Solar PV", 2024 IEEE 3rd International Conference on Electrical Power and Energy Systems (ICEPES), pp.1-6, 2024.

30. Jiaming Song, Qingsong Wang, Feiyu Chen, Giuseppe Buja, "Path Planning of Mobile Charging Vehicles Based on Improved Discrete Particle Swarm Optimization in Distribution System", 2024 IEEE 10th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC2024-ECCE Asia), pp.738-743, 2024.

31. A. K. M. Yousuf, Zhanle Wang, Raman Paranjape, Yili Tang, "An In-Depth Exploration of Electric Vehicle Charging Station Infrastructure: A Comprehensive Review of Challenges, Mitigation Approaches, and Optimization Strategies", IEEE Access, vol.12, pp.51570-51589, 2024.

32. Md Moniruzzaman, Abdulsalam Yassine, M. Shamim Hossain, "Energizing Charging Services for Next-Generation Consumers E-Mobility With Reinforcement

Learning and Blockchain", IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol.70, no.1, pp.2269-2280, 2024.

33. Linfeng Liu, Zhipeng Zhang, Jia Xu, Ping Wang, "A Bayesian Game Based Bidding Scheme for Mobile Charging Services in IoEV", IEEE Transactions on Services Computing, vol.17, no.2, pp.349-363, 2024.

34. C. Sivasankar, Saravanan G, Pradeepa H, V. Arun, E. N. Ganesh, "Advancements in Sustainable Charging Infrastructure: Integrating Solar Energy and IoT for Smart E-Vehicle Charging Stations", 2023 International Conference on Sustainable Communication Networks and Application (ICSCNA), pp.311-315, 2023.

35. A K M Yousuf, Zhanle Wang, Raman Paranjape, Yili Tang, "Electric Vehicle Charging Station Infrastructure: A Comprehensive Review of Technologies, Challenges, and Mitigation Strategies", 2023 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), pp.588-592, 2023.

36. Fatma Gülşen Erdiñç, "Uncertainty Dealing Energy Management of a PV and Battery Supplied Grid Connected Charging Service Station for a Fleet of Mobile Charging Oriented EVs", 2023 5th Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), pp.413-418, 2023.

37. Jian Zhong, Yuqi Qian, Xiaoyang Wang, Yuhong Zhao, Pengfei Wu, Chen Chen, Meng Cai, "Mobile Charging Platform Improves Distribution System Resilience and Electric Vehicles Charging Service", 2023 IEEE 6th International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS), pp.1-7, 2023.

38. Wen Wang, Junchao Fan, Xiaofeng Peng, Ye Yang, Chun Xiao, Shuai Yang, Mingcai Wang, Lingfei Wang, Hongyue Kang, Xiaolin Chang, "Maintenance Worker Scheduling for Charging Pile Fault: a Multi-Agent RL Approach", 2022 IEEE Intl Conf on Parallel & Distributed Processing with Applications, Big Data & Cloud Computing, Sustainable Computing & Communications, Social Computing & Networking (ISPA/BDCloud/SocialCom/SustainCom), pp.82-89, 2022.

39. Shahab Afshar, Vahid Disfani, "Optimal Scheduling of Electric Vehicles in the Presence of Mobile Charging Stations", 2022 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM), pp.1-5, 2022.

40. Shahab Afshar, Zachary K Pecenak, Vahid Disfani, "Mobile Charging Station: A Complementary Charging Technology for Electric Vehicles", 2022 IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC), pp.953-957, 2022.
41. Jianing Ni, Rupeng Liang, Hao Wu, "Collaborative Mobile Charging Vehicles Placement: A Reinforcement Learning Approach", 2021 IEEE 23rd Int Conf on High Performance Computing & Communications; 7th Int Conf on Data Science & Systems; 19th Int Conf on Smart City; 7th Int Conf on Dependability in Sensor, Cloud & Big Data Systems & Application (HPCC/DSS/SmartCity/DependSys), pp.920-926, 2021.
42. Arsham Bakhtiari, Francesco Ciari, Ali Moeini, Ali Hajebrahimi, "Towards a Co-simulation of Electric Vehicles with Power Grid", 2021 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), pp.414-419, 2021.
43. Rares Catalin Nacu, Daniel Fodorean, "Harmonics Mitigation in DC Based Charging Stations for EVs", 2021 10th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), pp.226-230, 2021.
44. Shahab Afshar, Vahid Disfani, "A Distributed EV Charging Framework Considering Aggregators Collaboration", 2021 IEEE Madrid PowerTech, pp.1-6, 2021.
45. Rafael C. Neto, Camila M. Bandeira, Gustavo M. S. Azevedo, Leonardo R. Limongi, Márcio R. S. de Carvalho, José F. C. Castro, Pedro A. C. Rosas, Augusto C. Venerando, Newmar Spader, Emilio Bueno, "Mobile Charging Stations: A Comprehensive Review of Converter Topologies and Market Solutions", *Energies*, vol.17, no.23, pp.5931, 2024.
46. Arun Kumar Kalakanti, Shrisha Rao, "Computational Challenges and Approaches for Electric Vehicles", *ACM Computing Surveys*, vol.55, no.14s, pp.1, 2023.
47. Ibrahim El-fedany, Driss Kiouach, Rachid Alaoui, "A Smart Coordination System Integrates MCS to Minimize EV Trip Duration and Manage the EV Charging, Mainly at Peak Times", *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, vol.19, no.3, pp.496, 2021.

48. Soi Jeon, Dae-Hyun Choi, "Optimal Energy Management Framework for Truck-Mounted Mobile Charging Stations Considering Power Distribution System Operating Conditions", *Sensors*, vol.21, no.8, pp.2798, 2021.
49. Priyanshu Singla, Shakuntla Boora, Poonam Singhal, Nitin Mittal, Vikas Mittal, Fikreselam Gared, "Design and simulation of 40kW solar power-based hybrid EV charging station", *Scientific Reports*, vol.14, no.1, 2024.
50. Mohammed, A., Saif, O., Abo-Adma, M. et al. Strategies and sustainability in fast charging station deployment for electric vehicles. *Sci Rep* 14, 283, 2024.
51. Liu, Z., Wu, Y. & Feng, J. Competition between battery switching and charging in electric vehicle: Considering anticipated regret. *Environ. Dev. Sustain.* 1, 1–22, 2023.
52. Chen, Y. Research on collaborative innovation of key common technologies in new energy vehicle industry based on digital twin technology. *Energy Rep.* 8, 15399–15407, 2022.
53. Narasipuram, R. P. & Mopidevi, S. A novel hybrid control strategy and dynamic performance enhancement of a 3.3 kW GaN–HEMT-based iL2C resonant full-bridge DC–DC Power converter methodology for electric vehicle charging systems. *Energies* 16, 5811, 2023.
54. Mutarraf, M. U. et al. Electric cars, ships, and their charging infrastructure—A comprehensive review. *Sustain. Energy Technol. Assess.* 52, 102177, 2022.
55. Wang, Q., Liu, X., Du, J. & Kong, F. Smart charging for electric vehicles: A survey from the algorithmic perspective. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 18(2), 1500–1517, 2016.
56. Wang, Q. et al. Smart charging for electric vehicles: A survey from the algorithmic perspective. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 18(2), 1500–1517, 2016.
57. Narasipuram, R. P. & Mopidevi, S. A technological overview & design considerations for developing electric vehicle charging stations. *J. Energy Storage* 43, 103225, 2021.
58. Greene, D. L. et al. Public charging infrastructure for plug-in electric vehicles: What is it worth? *Transp. Res. D Transp. Environ.* 78, 102182, 2020.

59. Ronanki, D., Kelkar, A. & Williamson, S. S. Extreme fast charging technology - Prospects to enhance sustainable electric transportation. *Energies* 12(19), 3721, 2019.
60. Yilmaz, M. & Krein, P. T. Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles. *IEEE Trans. Power Electron.* 28(5), 2151–2169, 2012.
61. Dubey, A., Santoso, S. & Cloud, M. P. A practical approach to evaluate voltage quality effects of electric vehicle charging. In 2013 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE) 188–194, 2013.
62. Thiringer, T. & Haghbin, S. Power quality issues of a battery fast charging station for a fully-electric public transport system in Gothenburg city. *Batteries* 1(1), 22–33, 2015.
63. Zheng, Y. et al. Electric vehicle battery charging/swap stations in distribution systems: Comparison study and optimal planning. *IEEE Trans. Power Syst.* 29(1), 221–229, 2014.
64. Sbordone, D. et al. EV fast charging stations and energy storage technologies: A real implementation in the smart micro grid paradigm. *Electr. Power Syst. Res.* 120, 96–108, 2015.
65. Negarestani, S., Fotuhi-Firuzabad, M., Rastegar, M. & Rajabi-Ghahnavieh, A. Optimal sizing of storage system in a fast-charging station for plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Trans. Transp. Electrification.* 2(4), 443–453, 2016.
66. Sun, B., Dragičević, T., Freijedo, F. D., Vasquez, J. C. & Guerrero, J. M. A control algorithm for electric vehicle fast charging stations equipped with flywheel energy storage systems. *IEEE Trans. Power Electron.* 31(9), 6674–6685, 2016.
67. Zhao, D., Thakur, N. & Chen, J. Optimal design of energy storage system to buffer charging infrastructure in smart cities. *J. Manag. Eng.* 36(2), 4019048, 2020.
68. He, Y., Song, Z. & Liu, Z. Fast-charging station deployment for battery electric bus systems considering electricity demand charges. *Sustain. Cities Soc.* 48, 101530, 2019.

69. Khan, W., Ahmad, F. & Alam, M. S. Fast EV charging station integration with grid ensuring optimal and quality power exchange. *Eng. Sci. Technol.* 22(1), 143–152, 2019.
70. Mehrjerdi, H. & Hemmati, R. Stochastic model for electric vehicle charging station integrated with wind energy. *Sustain. Energy Technol. Assess.* 37, 100577, 2020.
71. Domínguez-Navarro, J. A., Dufo-Lopez, R., Yusta-Loyo, J. M., Artal-Sevil, J. S. & Bernal-Agustín, J. L. Design of an electric vehicle fast-charging station with integration of renewable energy and storage systems. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 105, 46–58, 2019.
72. Hu, Y., Qian, K. & Gao, H. Design of electric vehicle charging station based on genetic algorithm. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 631(5), 52025, 2019.
73. Ahadi, A., Sarma, S., Moon, J. S., Kang, S. & Lee, J.-H. A robust optimization for designing a charging station based on solar and wind energy for electric vehicles of a smart home in small villages. *Energies* 11, 1728, 2018.
74. Fathabadi, H. Novel stand-alone, completely autonomous and renewable energy-based charging station for charging plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs). *Appl. Energy* 260, 114194, 2020.
75. Slangen, T., van Wijk, T., Cuk, V. & Cobben, S. The propagation and interaction of supraharmonics from electric vehicle chargers in a low voltage grid. *Energies* 13(15), 3865, 2020.
76. Dong, X., Mu, Y., Jia, H., Wu, J. & Yu, X. Planning of fast EV charging stations on a round freeway. *IEEE Trans. Sustain. Energy* 7(4), 1452–1461, 2016.
77. Luo, C., Huang, Y.-F. & Gupta, V. Placement of EV charging stations balancing benefits among multiple entities. *IEEE Trans. Smart Grid* 8(2), 759–768, 2017.
78. Shukla, A., Verma, K. & Kumar, R. Voltage-dependent modelling of fast charging electric vehicle load considering battery characteristics. *IET Electr. Syst. Transp.* 8, 221, 2018.

79. Zhou, G., Zhu, Z. & Luo, S. Location optimization of electric vehicle charging stations: Based on cost model and genetic algorithm. *Energy* 247, 123437, 2022.

80. Adetunji, K. E. et al. An optimization planning framework for allocating multiple distributed energy resources and electric vehicle charging stations in distribution networks. *Appl. Energy* 322, 119513, 2022.

Додаток А

Стаття у фаховому журналі (подана до редакції журналу «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах»)

УДК 681.5

DOI:

МАРТИНЮК Валерій

Хмельницький національний університет

ORCID ID: 0000-0001-5758-4244

e-mail: martynyuk_valeriy@gmail.com

ПАНТЕЛЕЙЧУК Михайло

Хмельницький національний університет

e-mail: mykhaylo.panteleychuk@gmail.com**УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД КЕРУВАННЯ ЗАРЯДНОЮ СТАНЦІЄЮ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ**

У статті зображена імітаційна модель зарядної станції електромобіля у програмному середовищі Matlab/Simulink. Отримані графіки зміни напруги та струму на виході блока Front End Converter, а також графіки зміни напруги, струму та стану заряду батареї електромобіля. Встановлено, що за допомогою удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля підтримується середнє значення зарядного струму батареї електромобіля величиною $I_{sar}=100$ А і процес зарядження батареї відбувається стабільно.

Ключові слова: удосконалений метод керування зарядною станцією електромобіля, стан заряду батареї електромобіля, швидка зарядна станція, режим заряджання електромобілів.

MARTYNYUK Valeriy, PANTELEYCHUK Mykhaylo

Khmelnitsky national university, Ukraine

AN IMPROVED METHOD OF CONTROLLING AN ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION

The article presents a simulation model of an electric vehicle charging station in the Matlab/Simulink software environment. Graphs of voltage and current changes at the output of the Front End Converter block, as well as graphs of voltage, current and state of charge of the electric vehicle battery, are obtained. It is established that using an improved method of controlling an electric vehicle charging station, the average value of the electric vehicle battery charging current is maintained at $I_{sar}=100$ A and the battery charging process is stable.

Keywords: advanced method of controlling an electric vehicle charging station, electric vehicle battery charge status, fast charging station, electric vehicle charging mode.

Постановка проблеми

Сучасні зарядні станції електромобілів часто стикаються з низкою проблем, таких як нерівномірний розподіл навантаження в електромережі, недостатня швидкість заряджання, а також відсутність адаптації до різних типів електромобілів. Крім того, зростання кількості зарядних станцій створює нові виклики, пов'язані з інтеграцією таких систем у розумні мережі та необхідністю оптимізації енергоспоживання.

Удосконалений метод керування зарядними станціями спрямований на забезпечення високої ефективності заряджання, зменшення пікових навантажень у мережі та інтеграцію відновлюваних джерел енергії.

Аналіз останніх джерел

Режим заряджання електромобілів визначає особливості електричного зв'язку, який існує між зарядною станцією та електромобілем. У відповідності до міжнародного стандарту IEC 61851-1 [1, 2] розрізняють 4 режими заряджання.

Режим 1. Процес заряджання відбувається від однофазної мережевої розетки, яка стандартизована, але не тільки для використання електромобілями. Режим 1 підтримує максимальний струм 16 А і напругу 250 В, з максимальною потужністю 3,7 кВт. Існує також трифазний варіант цього режиму з максимальною напругою 400 В і максимальною потужністю до 11 кВт. З боку автомобіля є спеціальний роз'єм, який може відрізнитися в залежності від виробника. Цей режим заряджання використовується для невеликих електромобілів, а також велосипедів та мопедів.

Режим 2. Цей режим подібний режиму 1. У цьому режимі не має спеціальної розетки для зв'язку з електромережею. Особливістю режиму 2 є система захисту, яка інтегрована у кабель та має пілот управління між транспортним засобом і з'єднанням, а також система диференційного захисту. Максимальний струм дорівнює 16 А і теоретично може бути збільшений до 32 А, з потужністю, аналогічною потужності режиму 1.

Режим 3. У цьому режимі використовується зарядний термінал, який має спеціальну систему живлення для електромобіля, з функціями управління та захисту на стаціонарній установці. Він має можливість відстежувати навантаження і відключати живлення, коли не виявляє підключений електромобіль. Цей режим підтримує максимальний струм 63 А, найпоширеніший - 32 А при максимальній напрузі 250 В.

Режим 4. У режимі заряджання 4 електромобіль підключається до низької напруги через зарядну станцію, яка перетворює змінний струм на постійний для подачі на електромобіль. Він має функцію захисту та контролю.

В основному використовуються роз'єми CHAdeMO, CCS combo або SAE J1772 з додатковим контактом для постійного струму. Це швидкий режим зі струмами до 400 А і максимальною потужністю до 240 кВт, з максимальними рівнями напруги 480 В.

Класифікація типів процесу заряджання електромобіля базується на часі, необхідному для повної зарядки електромобіля [3].

1. Надповільна зарядка - відбувається при максимальному струмі 10 А і може зайняти більше 12 годин.
2. Повільна зарядка - також відома як звичайна зарядка, з максимальним струмом 16 А і потужністю до 3,6 кВт.
3. Напівшвидка зарядка - підтримує потужність до 22 кВт, час зарядки від однієї години до п'яти годин.
4. Швидка зарядка - потреба в енергії становить від 44 до 50 кВт. Час заряджання становить 22-25 хвилин, щоб зарядити батарею на 80-90%.
5. Надшвидка зарядка - вважається експериментальною з дуже високою потужністю зарядки за п'ять-десять хвилин.

Виклад основного матеріалу

Для розробки математичної моделі удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля розглянемо характеристики заряду, коли зарядна станція заряджає батарею електромобіля з початковим станом заряду SOC 15% батареї, поки не досягне кінцевого SOC 100%.

В процесі заряду батареї від 18% до 95%, середня вхідна потужність зарядної станції складає 5,87 кВт, а середня вихідна потужність дорівнює 5,12 кВт. Значення втрат потужності складає 0,73 кВт. Ці втрати є результатом перетворення в тепло внаслідок перетворення енергії, що відповідає ККД 87,41%.

Враховуючи ідеальний робочий діапазон від SOC 20% до SOC 90%, рекомендований в [4], для продовження терміну служби акумуляторної батареї необхідно зарядити лише 18,9 кВт-год енергії, що становить 70% за цієї умови. За цими умовами час заряджання приблизно складає 3,7 год, але під час заряджання втрачається 2,73 кВт-год енергії.

Швидка зарядна станція - це зарядна станція електромобіля, яка забезпечує електромобіль електроенергією для заряджання його акумуляторної батареї настільки швидко, наскільки дозволяють рівні безпеки, передбачені стандартами.

У швидких зарядних станціях відбувається перетворення енергії змінного електричного струму мережі у постійний струм на виході станції, яка знаходиться ззовні транспортного засобу. У напівшвидких станціях використовується перетворювач енергії змінного електричного струму мережі у постійний струм на виході станції, який вбудований у транспортний засіб.

Перевагою швидких зарядних станцій є те, що вони є зовнішніми. Швидкі станції не обмежені в розмірах, тому мають елементи керування, які знижують рівень гармонік, що утворюються при перетворенні енергії змінного електричного струму мережі у постійний струм на виході станції. Іншою перевагою швидких станцій є використання фільтрів. В даний час найбільш поширений і давно встановлений у всьому світі стандарт, назва якого зареєстрована як "CHAdeMO", акронім від "CHArge de MOve", що означає "Заряджай, щоб рухатися" [5].

На рис. 1 зображена імітаційна модель зарядної станції електромобіля у програмному середовищі Matlab/Simulink. До складу імітаційної моделі зарядної станції електромобіля у програмному середовищі Matlab/Simulink входить блок Grid (Мережа), який моделює трифазну мережу змінного струму. Далі напруга ідеального трифазного джерела напруги подається на блок Filter & AC measurements (Фільтр і вимірювання параметрів змінної напруги та струму).

Сигнали з виходу блока Filter & AC measurements (Фільтр і вимірювання параметрів змінної напруги та струму) поступають на вхід блока FEC control circuit (Схема керування FEC). Блок FEC control circuit (Схема керування FEC) керує блоком Front End Converter (FEC) (Вхідний перетворювач). Front End Converter (FEC) у швидкій зарядній станції для електромобілів - це ключовий компонент системи, який виконує перетворення вхідної електричної енергії з мережі для забезпечення постійного струму (DC) потрібної напруги і потужності для зарядки батареї електромобіля.

Напруга постійного струму з виходу блока Front End Converter далі поступає на вхід блока DC-DC converter with galvanic isolation (DC-DC перетворювач із гальванічною розв'язкою). Керування блоком DC-DC converter with galvanic isolation (DC-DC перетворювач із гальванічною розв'язкою) здійснюється блоком DC-DC converter control circuit (Схема керування DC-DC перетворювачем).

Напруга з виходу блока DC-DC converter with galvanic isolation (DC-DC перетворювач із гальванічною розв'язкою) безпосередньо поступає на блок EV Battery (Батарея електромобіля). Блок EV Battery (Батарея електромобіля) моделює акумуляторні елементи, з'єднані послідовно, і датчики для вимірювання напруги на клеммах акумулятора та вихідного струму.

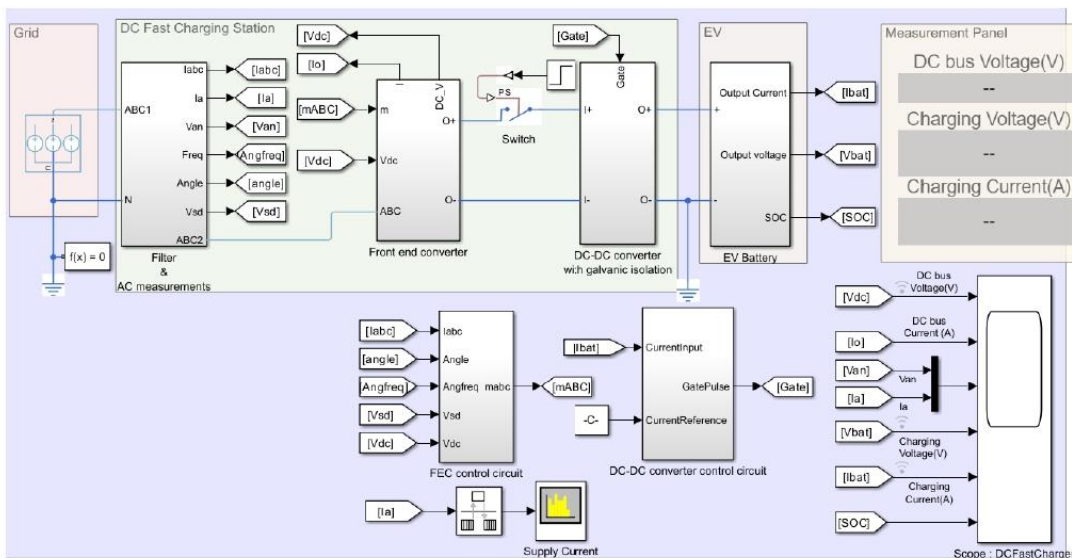


Рис. 1. Імітаційна модель зарядної станції електромобіля у програмному середовищі Matlab/Simulink

Для батареї електромобіля з напругою 800 В та струмом 100 А потрібно 2220 батарей Panasonic NCR 18650PF, розташованих у конфігурації 222 послідовно × 10 паралельно. Виконаємо експериментальне дослідження удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля. Для цього встановимо заданий зарядний струм батареї електромобіля величиною $I_{zar}=100$ А. В результаті отримаємо графік зміни напруги на виході блока Front End Converter, який зображено на рис. 2.

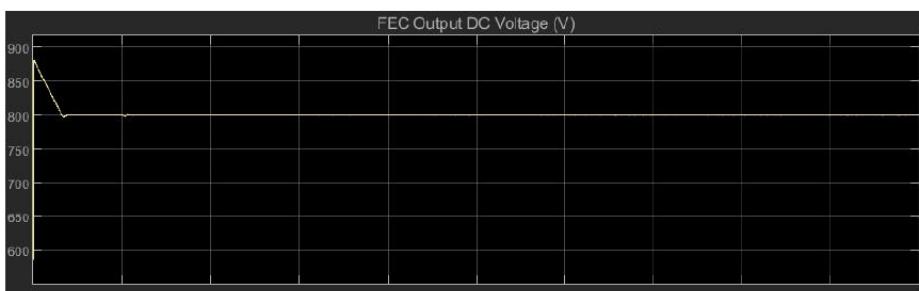


Рис. 2. Графік зміни напруги на виході блока Front End Converter

Аналізуючи графік зміни напруги на виході блока Front End Converter можна зробити висновок, що напруга на виході блока Front End Converter у момент ввімкнення сягає 880 В. Далі відбувається зменшення напруги до заданого значення напруги 800 В. На рис. 3 зображено графік зміни струму на виході блока Front End Converter.

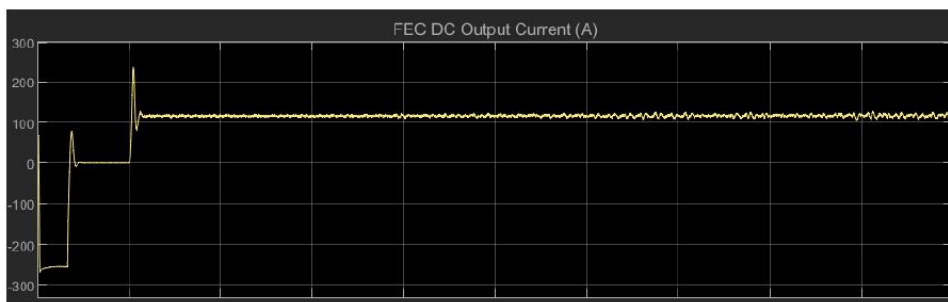


Рис. 3. Графік зміни струму на виході блока Front End Converter

Аналізуючи графік зміни струму на виході блока Front End Converter можна зробити висновок, що струм на виході блока Front End Converter у момент ввімкнення сягає -261 А. Далі відбувається збільшення значення струму до 213 А, а потім відбувається зменшення струму до значення 115 А. Це пояснюється перехідними процесами, які відбуваються в момент комутації, а також часовою затримкою спрацювання системи керування. На рис. 4 зображено графіки зміни напруги та струму першої фази в трифазній системі змінного струму (позначається як фаза А).

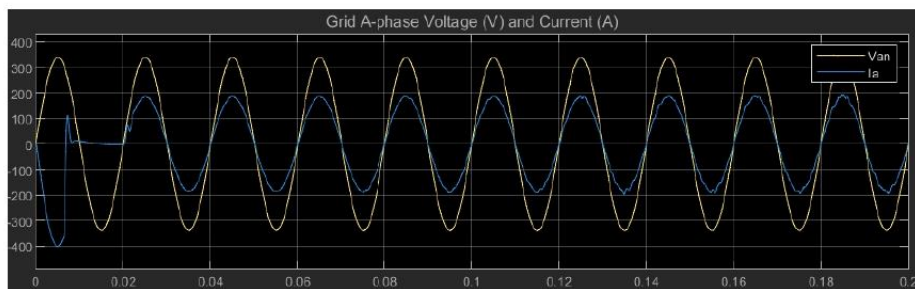


Рис. 4. Графіки зміни напруги та струму першої фази

Аналізуючи графіки зміни напруги та струму першої фази можна зробити висновок, що напруга та струм співпадає по фазі, а це означає відсутність реактивної складової. У цьому полягає суттєва перевага удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля. На рис. 5 зображено графік зміни напруги на клеммах батареї електромобіля.

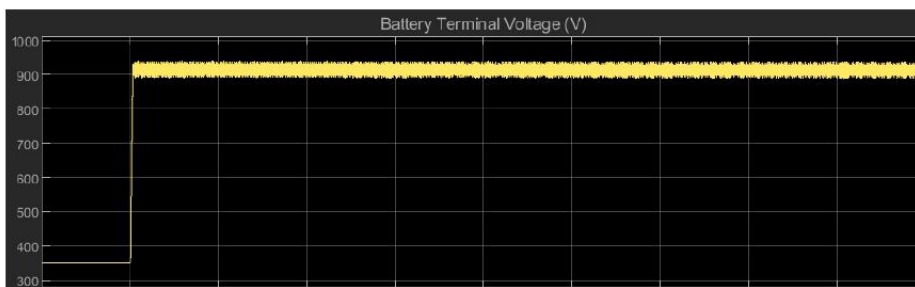


Рис. 5. Графік зміни напруги на клеммах батареї електромобіля

Аналізуючи графік зміни напруги на клеммах батареї електромобіля можна зробити висновок, що середнє значення зарядної напруги дорівнює 915 В, а максимальні та мінімальні значення зарядної напруги відповідно дорівнюють 935 В та 903 В. Звідси можна визначити амплітуду пульсацій зарядної напруги $\Delta U=32$ В. На рис. 6 зображено графіки зміни струму та стану заряду батареї електромобіля.

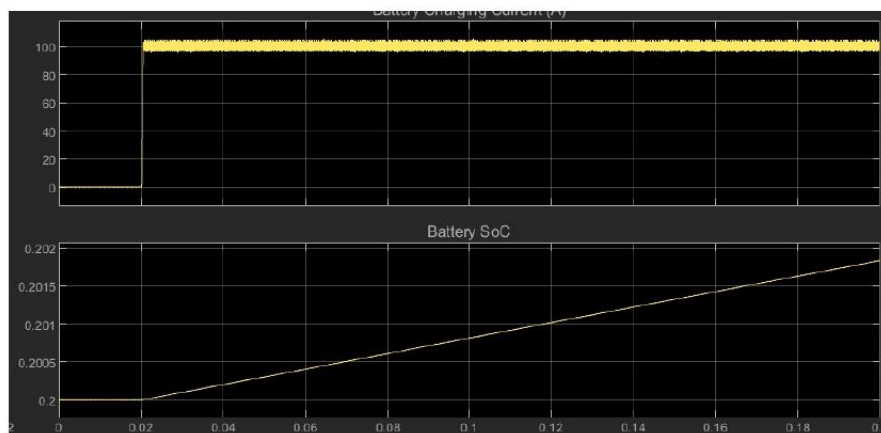


Рис. 6. Графіки зміни струму та стану заряду батареї електромобіля

Аналізуючи графіки зміни струму та стану заряду батареї електромобіля можна зробити висновок, що за допомогою удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля підтримується середнє значення зарядного струму батареї електромобіля величиною $I_{зар}=100$ А і процес зарядження батареї відбувається стабільно.

Висновки

1. Використання станцій швидкої зарядки з перетворенням енергії змінного/постійного струму призводить до генерації гармонік і підвищених вимог до електроенергії, тому необхідно провести дослідження впливу на місце, де вони будуть встановлені.

2. У швидких зарядних станціях відбувається перетворення енергії змінного електричного струму мережі у постійний струм на виході станції, яка знаходиться зовні транспортного засобу. У напівшвидких станціях використовується перетворювач енергії змінного електричного струму мережі у постійний струм на виході станції, який вбудований у транспортний засіб.

3. Перевагою швидких станцій є те, що вони є зовнішніми. Швидкі станції не обмежені в розмірах, тому мають елементи керування, які знижують рівень гармонік, що утворюються при перетворенні енергії змінного електричного струму мережі у постійний струм на виході станції. Іншою перевагою швидких станцій є використання фільтрів.

4. У відповідності до стандарту "IEEE Standard Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles", зарядна станція має перетворювач енергії змінного струму в енергію постійного струму. Функція перетворювача енергії змінного струму в енергію постійного струму полягає в перетворенні змінного струму з мережі в постійний струм з визначеною поведінкою з точки зору якості електроенергії, як описано в стандарті.

5. Для керування зарядною станцією електромобіля використовується синхронна система відліку dq (перетворення Парка) та широтно-імпульсний модулятор ШІМ. Для низькорівневого керування використовується каскадна топологія керування, яка складається з внутрішнього контуру для керування струмом, як постійним, так і квадратним, та зовнішнього контуру для керування напругою постійного струму. Для контурів керування змінним струмом використовується перетворення Кларка, яке перетворює електричні змінні трифазної системи (a, b, c) у двовимірну систему з фіксованими координатами (α , β , 0).

6. Друге перетворення, відоме як перетворення Парка, застосовується до цього перетворення шляхом переходу від нерухомих осей (α , β , 0) до системи осей, що обертаються (d, q, 0). Для того, щоб мати можливість виконувати перетворення Парка, необхідно визначити кутове положення відліку для струмів, якими потрібно керувати за допомогою системи відліку dq . Для цього використовується система фазової синхронізації з використанням методу ФАПЧ, який обчислює кут змінних мережі таким чином, щоб одна з осей могла бути вирівняна з вектором напруги.

Література:

1. Система зарядки електричних транспортних засобів дротова. Частина 1. Загальні вимоги. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=95965

2. Режими зарядки електромобілів. Режим доступу: <http://electromovilidad.net/modos-de-recarga-del-vehiculo-electrico/>

3. Станція для зарядки домашніх електромобілів модель EVSE-RS. Режим доступу: <https://www.evsolutions.com/Upload/Product/636513225838506420.pdf>

4. Вивчення несправностей літій-іонних батарей. Режим доступу: <https://eepower.com/technical-articles/examining-failures-in-lithium-ion-batteries/>

5. Aneqawa, T. Safety Design of CHAdeMO Quick Charging System. World Electr. Veh. J. 2010, 4, 855-859.

6. Shahab Afshar, Zachary K Pecenek, Vahid Disfani, "Mobile Charging Station: A Complementary Charging Technology for Electric Vehicles", 2022 IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC), pp.953-957, 2022.

References

1. Wired charging system for electric vehicles. Part 1. General requirements. Access mode: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=95965

2. Electric vehicle charging modes. Access mode: <http://electromovilidad.net/modos-de-recarga-del-vehiculo-electrico/>

3. Charging station for home electric vehicles model EVSE-RS. Access mode: <https://www.evsolutions.com/Upload/Product/636513225838506420.pdf>

4. Study of lithium-ion battery malfunctions. Access mode: <https://eepower.com/technical-articles/examining-failures-in-lithium-ion-batteries/>

5. Aneqawa, T. Safety Design of CHAdeMO Quick Charging System. World Electr. Veh. J. 2010, 4, 855-859.

6. Shahab Afshar, Zachary K Pecenek, Vahid Disfani, "Mobile Charging Station: A Complementary Charging Technology for Electric Vehicles", 2022 IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC), pp.953-957, 2022.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник Пантелейчук Михайло Володимирович

Тема: Удосконалений метод керування зарядною станцією електромобіля

Спеціальність: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 89

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є розробка
удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає
поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі виконано огляд пристроїв компенсації пікових струмів навантаження. У другому розділі удосконалено математичну модель процесу керування зарядною станцією електромобіля. У третьому розділі розроблено імітаційну модель удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля. У четвертому розділі виконано експериментальні дослідження удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля

4. Позитивні сторони роботи: Напруга та струм удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля співпадає по фазі, а це означає відсутність реактивної складової. У цьому полягає суттєва перевага удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля.

5. Негативні сторони роботи: не виконано порівняння удосконаленого методу керування зарядною станцією електромобіля із відомими методами керування зарядними станціями електромобілів.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

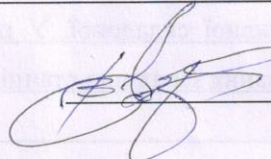
9. Оцінка дипломної роботи: добре (4,00/С)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

ЧЕШУН Віктор Миколайович

КАНД. ТЕХН. НАУК, ДОЦЕНТ КАФЕДРИ
КІБЕРБЕЗПЕКИ

"16" 12 2024 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Пантелейчука М.В.

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курс, групи АКІТРМ-23-1

ЗАЯВА


З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.12.2024

дата



підпис

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 12%

ID: 160054 Назва: МКР Удосконалений метод керування зарядною станцією електромобіля Додано в БД: 2024-12-16 Автора: Михайло ПАНТЕЛЕЙЧУК Керівники: Валерій МАРТИНЮК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	82317	606	689 (1%)	12 (2%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Михайло ПАНТЕЛЕЙЧУК

Співавтор:

Назва: МКР Пантелейчук

Науковий керівник: Валерій МАРТИНЮК

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1:1%

Коефіцієнт подібності 2:0%

Мікропробіли: 18

Заміна букв: 5

Інтервали: 0

Блі знаки: 1

Дата створення звіту: 2024-12-16 14:25:55.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2024-12-16

Дата

експерт

М.В. Редула

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Удосконалений метод керування зарядною станцією електромобіля

Автор: Пантелейчук Михайло Володимирович

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Науковий керівник: Мартинюк Валерій Володимирович, доктор технічних наук, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 1% і адресується до 39 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи





Валерій МАРТИНЮК

Валерій МАРТИНЮК

Валерій МАРТИНЮК