

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра електротехніки та електроенергетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ
ПРИ ОДНОЧАСНОМУ ЗАРЯДЖАННЯ ТА РОЗРЯДЖАННЯ
ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ З СОНЯЧНОЮ ІНЖЕКЦІЄЮ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ
ЕНЕРГІЇ

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 маг. курсу, групи ДЕА-Е23мг-1
спеціальності : 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/Гванджи ГАБУНІЯ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____/Ганна МОСІЄНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____/Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____/Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/Ігор КИРИСОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА**

Навчально – науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма Електричні станції, мережі та системи

**ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри**

(підпис)

к.т.н., доцент Артем ЧЕРНЮК
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

**на кваліфікаційну роботу дипломну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти**

здобувачу вищої освіти Гванджи ГАБУНІЯ

1. Тема «ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ПРИ ОДНОЧАСНОМУ ЗАРЯДЖАННЯ ТА РОЗРЯДЖАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ З СОНЯЧНОЮ ІНЖЕКЦІЄЮ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ»

затверджена наказом по академії № 4801-5/3345 від «12» 10 2024 р.

2. Термін здачі закінченої роботи «10» 12 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи/проєкту: Рівень напруги, умови експлуатації, характеристика струмоведучих частин, типи кабельних ліній, метод апарат дослідження, завдання, параметри обладнання

4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):
Вступ. Перелік умовних позначень. Швидка зарядка електромобіля, інтегрована з гібридними відновлюваними джерелами для роботи V2G і G2V. Інтеграція електромережі в управління електромережею: поведінка електромережі у випадку одночасного заряджання та розряджання електромобіля з сонячною інжекцією фотоелектричної енергії. Висновки. Список посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал): Слайди презентації

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання «_12_» _____ 10 _____ 2024__р.

Керівник

(підпис)

Ганна МОСІЄНКО

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

Гванджи ГАБУНІЯ

(підпис)

(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної дипломної роботи

№ з/ п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Визначення актуальності теми дослідження	02.10.24 – 05.10.24	
2	Проведення аналізу наукової літератури	06.10.24 – 15.10.24	
3	Виконання першого розділу дипломної роботи	16.10.24 – 29.10.24	
4	Виконання другого та третього розділу дипломної роботи	30.10.24 – 26.11.24	
5	Оформлення пояснювальної записки	27.11.24 – 07.12.24	

Студент (ка)

(підпис)

Гванджи ГАБУНІЯ

(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

(підпис)

Юлія ОЛШІЙНИК

(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота виконана на 66 стор., містить 4 таблиці, 26 рисунків, що характеризують результати дослідження, використано 45 літературних посилань.

Об'єкт дослідження – енергетичні характеристики електромережі.

Предмет дослідження – електричні мережі.

Мета роботи – ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ПРИ ОДНОЧАСНОМУ ЗАРЯДЖАННЯ ТА РОЗРЯДЖАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ З СОНЯЧНОЮ ІНЖЕКЦІЄЮ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.

Ступінь впровадження: проектні інститути.

Економічна ефективність значимість роботи: дана робота має високу значимість теоретичного й практичного рівня.

В дослідженні проаналізовані особливості використання електротранспорту, ми розглянемо інфраструктуру, необхідну для безперебійної та ефективної роботи електромобілів (EV), оскільки електромобілів експоненціально зростає на дорогах. Однією з них є технологія від автомобіля до мережі (V2G). Коли автомобіль припаркований або не використовується, система V2G передає енергію акумулятора в мережу. Окрім допомоги мережі, V2G також покращить ефективність транспортних засобів. EV заряджається та розряджається за допомогою двонаправленого перетворювача постійного струму (BDDC). PI-контролер використовується для керування BDDC та інвертором з боку мережі. Електроенергія з мікромережі постійного струму (DCMG) використовується для заряджання акумулятора електромобіля в режимі від мережі до автомобіля (G2V). DCMG має технології електромережі, сонячної фотоелектричної системи, вітру та системи зберігання енергії акумуляторів (BESS). Враховується стан повного заряду акумулятора EV. Моделювання та перевірка стратегії виконується в середовищі MATLAB Simulink.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА, ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ, АКУМУЛЯТОРНА СИСТЕМА НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ, ЛІТІЙ-ІОННИЙ, РОЗПОДІЛЬНА СІТКА, ЗНИЖЕННЯ ПІКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ, ДВОНАПРАВЛЕНІСТЬ

ABSTRACT

The master's thesis is completed on 66 pages, contains 4 tables, 26 figures characterizing the results of the study, 45 literary references are used.

The object of the study is the power characteristics of the electric grid.

The subject of the study is electric networks.

The purpose of the work is to **STUDY THE POWER CHARACTERISTICS OF THE ELECTRIC GRID DURING SIMULTANEOUS CHARGING AND DISCHARGE OF AN ELECTRIC VEHICLE WITH SOLAR INJECTION OF PHOTOELECTRIC ENERGY.**

Level of implementation: design institutes.

Economic efficiency significance of the work: this work has a high significance of the theoretical and practical level.

The study analyzes the features of the use of electric transport, we will consider the infrastructure necessary for the smooth and efficient operation of electric vehicles (EV), as the number of electric vehicles is growing exponentially on the roads. One of them is vehicle-to-grid (V2G) technology. When the car is parked or not in use, the V2G system transfers battery energy to the grid. In addition to helping the grid, V2G will also improve the efficiency of vehicles. EVs are charged and discharged using a bidirectional direct current converter (BDDC). A PI controller is used to control the BDDC and the grid-side inverter. The DC microgrid (DCMG) power is used to charge the EV battery in the grid-to-vehicle (G2V) mode. The DCMG has grid, solar photovoltaic, wind, and battery energy storage (BESS) technologies. The EV battery's full charge state is considered. The strategy is simulated and validated in the MATLAB Simulink environment.

KEYWORDS: ENERGY SECURITY, OPERATIONAL EFFICIENCY, BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM, LITHIUM-ION, DISTRIBUTION GRID, PEAK LOAD SHRINKING, BI-DIRECTIONALITY

ЗМІСТ

	с.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 ШВИДКА ЗАРЯДКА ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ, ІНТЕГРОВАНА З ГІБРИДНИМИ ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ДЛЯ РОБОТИ V2G I G2V	11
1.1. Інфраструктура, необхідна для безперебійної та ефективної роботи електромобілів	11
1.2. Проблеми розвитку електротранспорту в Україні	15
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	20
РОЗДІЛ 2. ІНТЕГРАЦІЯ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ В УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖЕЮ: ПОВЕДІНКА ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ У ВИПАДКУ ОДНОЧАСНОГО ЗАРЯДЖАННЯ ТА РОЗРЯДЖАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ З СОНЯЧНОЮ ІНЖЕКЦІЄЮ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	21
2.1. Особливості роботи електротранспорту в умовах заряд-розряд	21
2.2. Компоненти, структура та засоби керування мікрогрідом	24
2.2.1. Інвертор, підключений до мережі	25
2.2.2. Конфігурація зовнішніх зарядних пристроїв	29
2.2.2.1. Контроль зарядки та розрядки EV	30
2.1.2.2. Режим зарядки акумулятора	31
2.2.3. Система живлення фотоелектричної матриці	32
2.3. Режим роботи мікрогрід	34
2.3.1. G2V або режим зарядки	35
2.3.2. V2V або режим розрядки	36
2.3.3. V2v або комбінація режиму зарядки та розрядки	37
2.3.4. V2X або випадок, коли транспортний засіб постачає різні	38

навантаження на той самий автобус	
2.4. Аналіз потоку електроенергії мікромережі	39
2.4.1. Усі електромобілі заряджаються від мережі	39
2.4.2. Усі електромобілі заряджаються від мережі за допомогою PV POWER INJECTION	42
2.4.3. Одночасне заряджання та розряджання електромобілів у мережі без введення фотоелектричної енергії	41
2.4.4. Одночасне заряджання та розряджання електромобілів у мережі за допомогою PV POWER INJECTION	41
2.5. Моделювання та результати	42
2.5.1. Модель і моделювання simulink	42
2.5.2. Результати моделювання без сонячної інтеграції	44
2.5.3. Результати моделювання з сонячною інтеграцією	48
2.5.3.1. Структура pv масиву	49
2.5.3.2. Профіль сонячної енергії	50
2.5.3.3. Поведінка мережі через введення сонячної енергії	51
2.5.3.4. Профіль сітки без інтеграції ev	53
2.5.3.5. Профіль сітки з інтеграцією EV	53
2.5.4. Результати моделювання у випадку V2V	57
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	59
ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ	60
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	61

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕВ – електровелосипед
ЕМВ – електромотовелосипед
ЕV – електромобіль
PF – коефіцієнт потужності
SAPF – фільтр активної потужності
ШИМ – широтно–імпульсна модуляція
LPF – фільтр низьких частот
BPF – смуговий фільтр
PV – фотоелектрична система
ЕМ – електрична мережа
ММ – математичні моделі
МKE – метод кінцевих елементів
МКР – метод кінцевих різниць
MPPT – точка максимальної потужності
ПП – первинна підстанція
ПС – вторинна підстанція
РМ – розподільчі мережі
РПН – регулювання напруги під напругою
СНАУ – система нелінійних алгебраїчних рівнянь
СЛАУ – система лінійних алгебраїчних рівнянь
FEMM – Finite Element Method Magnetism
ПДЕ – поновлювальні джерела енергії
СЕП – система електропостачання
ФЕУ – фотовольтаїчна електрична станція

ВСТУП

Справжні дослідження в галузі енергетики різко зосереджені на використанні зелених енергетичних ресурсів. Гідроенергетичні системи протягом багатьох років були найвідомішими екологічними джерелами. Однак гідроенергетичні системи, які є сезонними та найбільш експлуатованими, не покривають швидкості збільшення щоденного попиту. Інжекція сонячної енергії може бути допоміжною альтернативою, але це лише в денний час, залежить від погоди та періодично. Тому необхідна система зберігання.

Акумулятори – це швидкий вихід. Не залишилися позаду не тільки енергетичний сектор, а й транспортні системи; вони прагнуть позеленіти. Тому вони звертаються до електромобілів (EV) та електромотовелосипедів (ЕМВ). З іншого боку, цей варіант має тенденцію до різкого збільшення попиту, який може бути тягарем для мережі, тобто збільшення EV та ЕМВ передбачає збільшення попиту на електроенергію, компонентів мережі та тиску на мережу. На щастя, електромобілі використовують батареї для накопичення енергії. Таким чином, електромобілі є системою накопичення електроенергії, вони стають частиною системи управління електроенергією та можуть зберігати надлишок електроенергії. З використанням фотоелектричної енергії немає потреби в додатковій системі зберігання, оскільки електромобілі заряджаються від мережі та зберігають сонячну енергію, яку можна використовувати пізніше після заходу сонця.

Двонаправлений зовнішній зарядний пристрій є рішенням, оскільки він дозволяє заряджати транспортний засіб від мережі (G2V), а транспортний засіб – повертати електроенергію в мережу (V2G). Включення електромобілів до системи управління живленням вводить концепцію від автомобіля до транспортного засобу (V2V), коли один EV може заряджати інший, і від автомобіля до навантаження (V2X), де EV може подавати електроенергію на ЕМВ або будь-яке навантаження. V2G, G2V, V2X, включення сонячної енергії

в мережу та поведінка мережі в цьому сценарії будуть проілюстровані в цьому дослідженні.

У зв'язку з цим метою цієї магістерської роботи є ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ПРИ ОДНОЧАСНОМУ ЗАРЯДЖАННЯ ТА РОЗРЯДЖАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ З СОНЯЧНОЮ ІНЖЕКЦІЄЮ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Об'єкт дослідження – енергетичні характеристики електромережі.

Предмет дослідження – електричні мережі.

РОЗДІЛ 1 ШВИДКА ЗАРЯДКА ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ, ІНТЕГРОВАНА З ГІБРИДНИМИ ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ДЛЯ РОБОТИ V2G І G2V

1.1. Інфраструктура, необхідна для безперебійної та ефективної роботи електромобілів

В дослідженні проаналізовані особливості використання електротранспорту, ми розглянемо інфраструктуру, необхідну для безперебійної та ефективної роботи електромобілів (EV), оскільки електромобілів експоненціально зростає на дорогах. Однією з них є технологія від автомобіля до мережі (V2G). Коли автомобіль припаркований або не використовується, система V2G передає енергію акумулятора в мережу. Окрім допомоги мережі, V2G також покращить ефективність транспортних засобів. EV заряджається та розряджається за допомогою двонаправленого перетворювача постійного струму (BDDC). PI-контролер використовується для керування BDDC та інвертором з боку мережі. Електроенергія з мікромережі постійного струму (DCMG) використовується для заряджання акумулятора електромобіля в режимі від мережі до автомобіля (G2V). DCMG має технології електромережі, сонячної фотоелектричної системи, вітру та системи зберігання енергії акумуляторів (BESS). Враховується стан повного заряду акумулятора EV. Моделювання та перевірка стратегії виконується в середовищі MATLAB Simulink.

Інфраструктура для електромобілів включає кілька ключових елементів, які забезпечують їх безперебійну та ефективну роботу:

1. Зарядні станції: Найважливіша частина інфраструктури. Вони повинні бути широко розповсюджені, зручні для користування та забезпечувати швидку зарядку.

2. Швидка зарядка: Швидкі зарядні станції (зазвичай вищого класу) дозволяють зарядити автомобіль за кілька хвилин, що є важливим для довгих поїздок.

3. Зарядні станції на дому: Для повсякденного використання, зарядка дома є найзручнішим варіантом.

4. Інтеграція з електромережами: Електромобілі повинні бути зв'язані з електромережами, що забезпечує їх зарядку з відновлюваних джерел енергії.

5. Інформаційні системи: Апарати та додатки, які надають користувачам доступ до інформації про наявність зарядних станцій, їхній статус та інші важливі дані.

6. Підтримка урядових ініціатив: Підтримка від урядів через пільги, податкові знижки та інші заходи для стимулювання використання електромобілів.

Ці елементи сприяють зростанню популярності електромобілів та їхньому впровадженню в повсякденне життя.

Різновиди зарядних станцій:

- Зарядні станції рівня 1. Використовують стандартну домашню електричну розетку, Підходять для зарядки на ніч, Швидкість зарядки: близько 8-12 годин для повного заряду.

- Зарядні станції рівня 2. Використовують спеціальні зарядні пристрої. Часто встановлюються вдома, у офісах та на парковках. Швидкість зарядки: 4-6 годин для повного заряду.

- Швидкі зарядні станції (рівень 3). Використовують постійний струм (DC). Підходять для зарядки на шосе та великих автострадах. Швидкість зарядки: 30 хвилин до 80% заряду.

Розподілення і розміщення:

- Міські зони: Важливо мати зарядні станції на кожному кварталі або поблизу торговельних центрів, щоб користувачі могли легко знайти місце для зарядки.

- Магістралі та автомагістралі: Зарядні станції на великих автострадах дозволяють водіям здійснювати довгі поїздки без хвилювань щодо заряду батареї.

- Публічні місця та парковки: Забезпечення зарядних станцій у громадських місцях, таких як паркінги, кінотеатри, ресторани та парки.

Додаткові функції:

- Сумісність: Зарядні станції повинні підтримувати різні типи роз'ємів, щоб обслуговувати широкий спектр електромобілів.

- Бездротові зарядні станції: Новітні технології, що дозволяють заряджати автомобілі без використання кабелів.

- Інтеграція з додатками: Можливість користувачів через мобільні додатки знаходити найближчі зарядні станції, бачити їхню доступність та оплачувати зарядку.

Забезпечення всіх цих аспектів може значно покращити досвід користувачів електромобілів і сприяти їх широкому впровадженню.

Інфраструктура зарядних станцій для електромобілів є надзвичайно важливою для підтримки зростаючого числа електромобілів на дорогах.

Розгляньмо детальніше деякі ключові аспекти:

1. Типи зарядних станцій

1. Рівень 1 (АС зарядка)

- Використовує стандартну побутову розетку.
- Зарядка на рівні 120В.
- Переважно використовуються для нічної зарядки вдома.
- Час зарядки: 8-12 годин для повного заряду.

2. Рівень 2 (АС зарядка)

- Використовує спеціалізовані зарядні пристрої.
- Зарядка на рівні 240В.
- Швидкість зарядки в 4-6 разів вища, ніж у зарядок рівня 1.
- Час зарядки: 4-6 годин для повного заряду.

3. Швидка зарядка (DC зарядка)

- Використовує постійний струм.
- Підходить для короткочасної швидкої зарядки на шосе та автомагістралях.
- Час зарядки: 30-45 хвилин до 80% заряду.

2. Стратегія розміщення зарядних станцій

1. Міські зони

- Зарядні станції повинні бути розміщені в доступних місцях, таких як торговельні центри, офіси, громадські паркінги та житлові райони.
- Необхідно забезпечити високу щільність розміщення станцій для зручності користувачів.
- Автомагістралі
- Зарядні станції на автострадах дозволяють забезпечити безперебійну поїздку на довгі відстані.
- Розташування через кожні 50-100 км є оптимальним для запобігання занепокоєнню щодо заряду батареї.

2. Публічні місця та паркінги

- Забезпечення зарядних станцій у зонах великого скупчення людей, таких як парки, кінотеатри, ресторани, транспортні вузли.

3. Інтеграція з електромережами

1. Використання відновлюваних джерел енергії

- Сприяння використанню сонячних, вітрових та інших відновлюваних джерел енергії для зарядки електромобілів.
- Зниження залежності від викопних видів палива та зменшення викидів парникових газів.

2. Система управління енергією

- Розумні мережі (smart grids) та системи управління енергією дозволяють ефективно розподіляти електроенергію та уникати пікових навантажень.

- Використання технологій зберігання енергії для забезпечення стабільності мережі.

4. Додаткові функції та сервіси

1. Мобільні додатки

- Інтеграція мобільних додатків для користувачів, які дозволяють знайти найближчі зарядні станції, перевірити їх доступність, бронювати та оплачувати зарядку.
- Додатки можуть надавати інформацію про стан заряду автомобіля та час, що залишився до завершення зарядки.

2. Бездротові зарядні станції

- Використання технологій індуктивної зарядки, що дозволяє заряджати автомобілі без потреби у використанні кабелів.
- Підвищення зручності для користувачів та зниження ризику пошкодження зарядних роз'ємів.

3. Сумісність

- Забезпечення підтримки різних типів роз'ємів та стандартів зарядки для обслуговування різних моделей електромобілів.
- Гармонізація міжнародних стандартів для спрощення використання електромобілів у різних країнах.

1.2. Проблеми розвитку електротранспорту в Україні

В Україні транспортна галузь на рівні з енергетичною продукує до 28% викидів CO₂. Обсяги парникових викидів від використання двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), а з ними — ризики глобальної зміни клімату і забруднення повітря роблять доцільним широке впровадження електричного транспорту на всіх рівнях організації перевезень, і в першу чергу це стосується приватного користування електромобілями та міського пасажирського

транспорт (муніципального парку електробусів, службової дорожньої техніки, таксі, служб доставки, тощо). Цього вимагають і прийняті Україною міжнародні екологічні зобов'язання.

Згідно планів Єврокомісії, до 2030 року електромобілі повинні скласти половину всього міського автотранспорту. Очікується, що такий перехід на електропривід дозволить значно знизити викиди шкідливих речовин в атмосферу і знизить рівень акустичного забруднення навколишнього середовища. Згідно Національної транспортної стратегії в Україні розраховують до 2030 року повністю перейти на муніципальний транспорт з електродвигунами, повністю замінивши автобуси та маршрутні таксі.

Реалізація програм «озеленення» транспорту дозволить Україні суттєво скоротити викиди парникових газів, що є необхідним для виконання зобов'язань за Паризькою кліматичною угодою. За даними Міністерства Інфраструктури України на 01.01.2022 р. в країні налічується близько 10,2 млн. автомобілів. При заміні української автотранспортної системи на електричну можна досягти значних природоохоронних результатів.

Перші електромобілі в Україні були офіційно зареєстровані ще у 2012 році. Помітне зростання їх кількості відбулося у 2016 році (1602 од. проти 470 од. у 2015 р.), що було пов'язано з початком дії з 1 січня 2016 року закону про скасування мита на імпорт електромобілів. У 2021 році в Україні було зареєстровано 8 500 електромобілів. Це приблизно на 20% більше, ніж у 2020 році. Створення національної інфраструктури зарядних станцій стане поштовхом не лише для поширення приватного електротранспорту, а й для муніципального, та для розвитку нових сервісів з використанням електромобілів, наприклад, у сфері логістики.

У 2022 році попит на електроавтомобілі в Україні зріс у 15 разів через спровокований військовою агресією дефіцит та подорожчання пального. Через кризу на ринку пального в Україні виникло стрімке зростання попиту на електромобілі. На сьогодні разом з «гібридами» кількість електрифікованих

автомобілів складає понад 100 тисяч (з них чистих електромобілів – 42,3 тис., причому більше 10 тис було зареєстровано протягом 9 міс. 2022 р.).

Станом на 1 жовтня 2022 року кількість зареєстрованих електромобілів в Україні становила 42289 од. Що стосується розподілу електромобілів за регіонами України, як наведено в табл.иці 1.1., перше місце займає Київ, де на 1 жовтня 2022 року налічувалося 8740 зареєстрованих електромобілів. А у всій Київській області разом з Києвом їхня кількість сягає 11957 одиниць або майже третину від загальної чисельності в країні.

Особливість українського ринку електромобілів полягає у тому, що переважну його більшість (до 85%) складають вживані електромобілі із США та країн Європи . Найбільш популярна і поширена модель електромобіля в Україні - Nissan Leaf.

Оскільки з кожним місяцем електромобілів в Україні дедалі більше, це виводить на перший план розвиток зарядної інфраструктури. Відзначимо, що для збільшення кількості електротранспорту критично важливим є розвиток щільної мережі зарядок біля місця проживання та роботи. Маючи можливість зарядитися біля місця проживання, споживач з більшою вірогідністю обере електромобіль, купуючи автомобіль. У той самий час, бізнесу економічно не вигідно розбудовувати мережі зарядних станцій без достатньо розвиненого ринку електромобілів у короткостроковій перспективі [2].

Для зарядних станцій та конекторів моніторинг та облік на державному рівні поки що відсутній, а з початком бойових дій неможливий фізично. Дані з відкритих джерел свідчать, що у порівнянні з 2020 р. кількість станцій та зарядних портів (на кожній станції може бути кілька конекторів різних типів) зменшилася. Так, якщо на 1.01.2021 р. в Україні налічувалося 11,5 тис. точок підключення (або конекторів), то станом на 1.11.2021 р. – 7,8 тис., загальне число зарядних станцій – 3244. Це спричинено тим, що у 2021 році український ринок зарядної інфраструктури суттєво змінив свою конфігурацію – деякі оператори об'єдналися, інші залишили ринок [3]. Однак, навіть незважаючи на це, на початок 2022 р. співвідношення кількості електромобілів до кількості

точок підключення в Україні становило 4,2. Це високий показник, на рівні найкращих серед європейських країн (такий індекс, наприклад, у Нідерландах).

Таблиця 1.1. – Кількість зареєстрованих електромобілів за регіонами України

№	Регіон України	Кількість електромобілів, од.		№	Регіон України	Кількість електромобілів, од.	
		1.11.2021	1.10.2022			1.11.2021	1.10.2022
1	м. Київ	7176	8740	14	Тернопільська обл.	509	972
2	Одеська обл.	4733	4801	15	Миколаївська обл.	483	654
3	Київська обл.	3730	3217	16	Івано-Франківська обл.	481	753
4	Харківська обл.	3178	3443	17	Донецька обл.	471	887
5	Дніпропетровська обл.	2680	3656	18	Черкаська обл.	426	862
6	Львівська обл.	2172	3078	19	Волинська обл.	426	694
7	Вінницька обл.	957	1544	20	Закарпатська обл.	410	784
8	Запорізька обл.	851	1222	21	Херсонська обл.	248	403
9	Житомирська обл.	784	1256	22	Сумська обл.	223	427
10	Полтавська обл.	637	1084	23	Кіровоградська обл.	221	465
11	Рівненська обл.	633	856	24	Чернігівська обл.	148	333
12	Хмельницька обл.	518	1026	25	Луганська обл.	50	250
13	Чернівецька обл.	515	860	26	АР Крим	2	22
Україна (всього)						32662	42289

Збільшення кількості електричних транспортних засобів робить їх важливою складовою системи електропостачання як на регіональному рівні, так і на рівні всієї країни. Розвиток електричних мереж з електромобілями, розробка і використання технологій Smart Grid для них здійснюється з урахуванням додаткових вимог і обмежень відносно режимів заряду тягових батарей автомобілів з метою забезпечення їх ефективної інтеграції в гібридну систему електропостачання. На сьогодні в Україні, як і в розвинених країнах світу, існує можливість інтеграції електричних транспортних засобів в електричну мережу при використанні їх для регулювання навантаження енергосистеми [3].

Стратегія полягає в тому, щоб заряд акумуляторів транспортних засобів здійснювати в основному під час мінімуму навантаження енергосистеми, а в пікові періоди часу – генерувати енергію від акумулятора в мережу. Масове використання електромобілів в такому режимі дозволить знизити попит на електроенергію в пікові періоди, що, у свою чергу, знижує потребу в пікових електростанціях і допомагає зменшити шкідливі викиди, оскільки такі генеруючі джерела звичайно більш екологічні й ефективні порівняно з електростанціями, які забезпечують постійне (базове) навантаження. Ця задача актуальна як для багатьох європейських країн, так і для України.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Розвиток електротранспорту стикається з кількома викликами. Ось деякі з них:

1. Висока початкова вартість: Інвестиції в електротранспортні системи можуть бути дуже високими, що ускладнює їх реалізацію.
2. Інфраструктура: Потрібно створювати нові станції зарядки та модернізувати існуючі.
3. Довгий час зарядки: Зарядка електромобілів може займати більше часу порівняно з заправкою бензинових автомобілів.
4. Доступність електроенергії: Не всі регіони мають доступ до чистої електроенергії, що може впливати на екологічність електротранспорту.
5. Технічні обмеження: Хоча технології постійно розвиваються, ще залишаються проблеми з дальністю польоту та масою батарей.

РОЗДІЛ 2. ІНТЕГРАЦІЯ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ В УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖЕЮ: ПОВЕДІНКА ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ У ВИПАДКУ ОДНОЧАСНОГО ЗАРЯДЖАННЯ ТА РОЗРЯДЖАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ З СОНЯЧНОЮ ІНЖЕКЦІЄЮ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

2.1. Особливості роботи електротранспорту в умовах заряд-розряд

Сьогодні зміна клімату викликає серйозне занепокоєння, незалежно від того, який варіант пом'якшення наслідків є капітальним. Дослідження в різних сферах зосереджені на цілях Net-Zero, тобто балансі парникових газів, що викидаються в атмосферу, з видобутими. Останнім є утримання підвищення глобальної температури значно нижче 1,5°C [11, 12, 13, 14, 15]. Екологічні та відновлювані джерела енергії – це рятівний засіб. У країнах, де доступна достатня кількість води, виробництво гідроелектроенергії стає домінуючим, але в деяких випадках воно не виробляє достатньо електроенергії для підтримки щоденного зростання попиту на енергію. Саме в цьому випадку відбувається вироблення сонячного, вітрового та зеленого водню [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24]. Найбільшим недоліком збору відновлюваної енергії є те, що всі ці ресурси є періодичними та сезонними. Тому слід розглянути надійні системи зберігання енергії. Крім енергетики, транспорт також набирає обертів і прагне до зеленого. Отже, впровадження електричних транспортних засобів (EV) та електричних мотоциклів (EMB) у щоденну транспортну діяльність. Електрифікація транспорту (електронний транспорт) стає стратегією скорочення викидів парникових газів і сприяє досягненню Net-Zero, але це може бути навантаженням на розгалужену енергетичну мережу. Насправді, зростання електронного транспорту означає зростання попиту на електроенергію, компоненти енергетичних систем і зростання виробництва. Враховуючи, що більшість генеруючих потужностей не є екологічно чистими, цільовий показник нульового нетто не замкне цикл. Для того, щоб прагнути до

чистого нуля та належним чином замкнути цикл, не ігноруючи впровадження зеленої генерації та розвиток екологічного транспорту, надійні системи зберігання мають велике значення. Розвиток зеленого покоління має йти рука об руку з екологічним транспортом. Електромобілі використовують батареї, тоді їх можна зробити частиною електромережі та сприяти управлінню мережею замість того, щоб бути тягарем [25, 26]. Електромобілі зберігають енергію у своїх батареях, по-перше, для використання, а по-друге, для передачі в мережу в години пік, для підтримки мережі. Управління зарядкою та розрядкою є важливим, щоб гарантувати, що електромобілі заряджаються під час пікової генерації від найбільш переривчастих джерел, наприклад, сонячної енергії. Енергія, що зберігається в електромобілях, призначена як для транспортування, так і для підтримки мережі в години роботи з мережею. Якщо електромобілі надсилають електроенергію назад до мережі, навантаження, підключені до однієї мережі, можуть отримати вигоду від використання тієї самої потужності від електромобілів. Таким чином, інтеграція EV до мережі вводить такі терміни:

1. G2V: мережа до автомобіля; у цьому випадку мережа надсилає електроенергію до автомобіля; іншими словами, транспортний засіб заряджається.

2. V2G: Vehicle-to-Grid; у цьому випадку транспортний засіб повертає електроенергію в мережу; іншими словами, транспортний засіб повертає електроенергію в мережу.

3. V2V: від автомобіля до автомобіля; в цьому випадку два транспортні засоби використовують один автобус; один заряджається, інший розряджається.

4. V2X: транспортний засіб до навантаження; у цьому випадку транспортний засіб живить будь-яке навантаження на одній шині.

Остання згадана термінологія була в тренді в останніх дослідженнях у сфері електронної мобільності [27, 28, 29, 30]. Щоб мати можливість виконувати зарядку та розрядку, використовується двонаправлений зовнішній зарядний пристрій; цей тип зарядного пристрою разом із поведінкою мережі під

час одночасного заряджання та розряджання електромобілів проілюстровано в [31]. Це дослідження розширює роботу, представлену в статті конференції [31], і оцінює інтеграцію та поведінку мережі під час зарядки та розрядки електромобілів. Сонячна енергетична система додається до дослідження як відновлюване джерело енергії, яке підтримує систему гідроенергетики та допомагає заряджати електромобілі. Параметри заряджання за допомогою фотоелектричної енергії детально описано в [32]. У цій роботі проілюстровано мережеве та фотоелектричне накопичення електроенергії в електромобілях для майбутнього використання, як частину системи управління мережею. Однак інтеграція електромобілів до мережі не проста. Належний контроль часу заряджання та розряджання важливий, щоб уникнути несподіваних проблем [33]. Під час заряджання (G2V) електромобілі створюють частину навантаження та можуть мати суттєвий вплив на мережу, електромережа зазнає руйнівного ефекту, а деякі внутрішні розподільчі мережі можуть суттєво постраждати [34]. З іншого боку, під час розрядки (V2G) [35, 36, 37], електромобілі зменшують навантаження на навколишнє середовище, зменшується навантаження на енергомережу та уникаються неекологічні джерела енергії [38]. Беручи до уваги, що, залежно від доступних електромобілів, ймовірність одночасного заряджання та розряджання мережі реагує відповідно. Таким чином, ця робота описує поведінку сітки під час одночасного заряджання та розряджання. Крім того, поведінка мережі буде оцінюватися за тим самим сценарієм за допомогою фотоелектричної енергії. Комбінація електромережі, EV, EMB та фотоелектричної системи, а також пов'язаних елементів керування утворюють мікромережу, і вона моделюється в Matlab-Simulink. Показано технологію, що лежить в основі заряджання, розряджання акумулятора електромобіля та відповідного контролю. Вивчаються G2V, V2G, V2V і V2X. Двонаправлена поведінка потоку енергії глибоко розроблена. Показано профіль потужності, що ілюструє повний сценарій. Модель у Matlab-Simulink використовується для перевірки дослідження та демонстрації результатів тестування.

2.2. Компоненти, структура та засоби керування мікрогрідом

Останній складається з нескінченної електромережі, різних зарядних станцій для електромобілів і сонячної системи фотоелектричної енергії. Всередині тієї самої мікромережі застосовується перетворення енергії силової електроніки, обробляється потік потужності та виконуються різні елементи керування для забезпечення правильних параметрів. EV та EMB утворюють навантаження, тоді як EV можуть служити системами зберігання. Зарядні станції для електромобілів і EMB здебільшого встановлюються в містах, де в більшості країн міська електромережа середньої напруги становить 15kV [39]. Останній перетворюється на низьку напругу 0,4kV через понижуючий трансформатор для розподілу. На рисунку 2.1 мікромережа підключена до низької напруги (0,4kV) стороні основної сітки. Низька напруга в свою чергу виходить з 15kV мережу середньої напруги через трансформатор. Через двонаправлений перетворювач ac-dc [40] 653,2 В постійного струму подається в ланку постійного струму. P_v система живлення постачає ту саму шину постійного струму 653,2 В. У свою чергу, шина постійного струму постачає 40кВт зовнішні зарядні пристрої для заряджання та розряджання електромобілів та 26.7кВт навантаження постійного струму. Навантаження постійного струму означає emb або будь-яке інше навантаження. Виносний зарядний пристрій на 40 кВт і 100 А обрано серед доступних у продажу та найбільш використовуваних зарядних станцій. Усі вказані зовнішні зарядні пристрої мають рівень вище 2 у рівнях, визначених товариством автомобільних інженерів [41]. Вони належать до обладнання електроживлення для транспортних засобів (EVSE) і класифікуються як рівень 3, оскільки вони можуть швидко заряджатися (макс. Номінальний струм 100 А [32]). У цій роботі розглядається мікросітка на рисунку 2.1. Отже, дослідження буде зосереджено на поведінці мережі щодо потоку електроенергії від/до електромобілів із підтримкою фотоелектричної системи. Перш ніж докладно розповідати про поведінку електромережі, у цій роботі докладніше буде розглянуто

двонаправлений потік енергії, перетворення енергії, збір сонячної енергії, задіяні засоби керування та зарядку/розрядку акумуляторів електромобілів. SIMULINK використовується як інструмент для моделювання та досягнення необхідних результатів. Рисунок 2.1. ілюструє мікросітку.

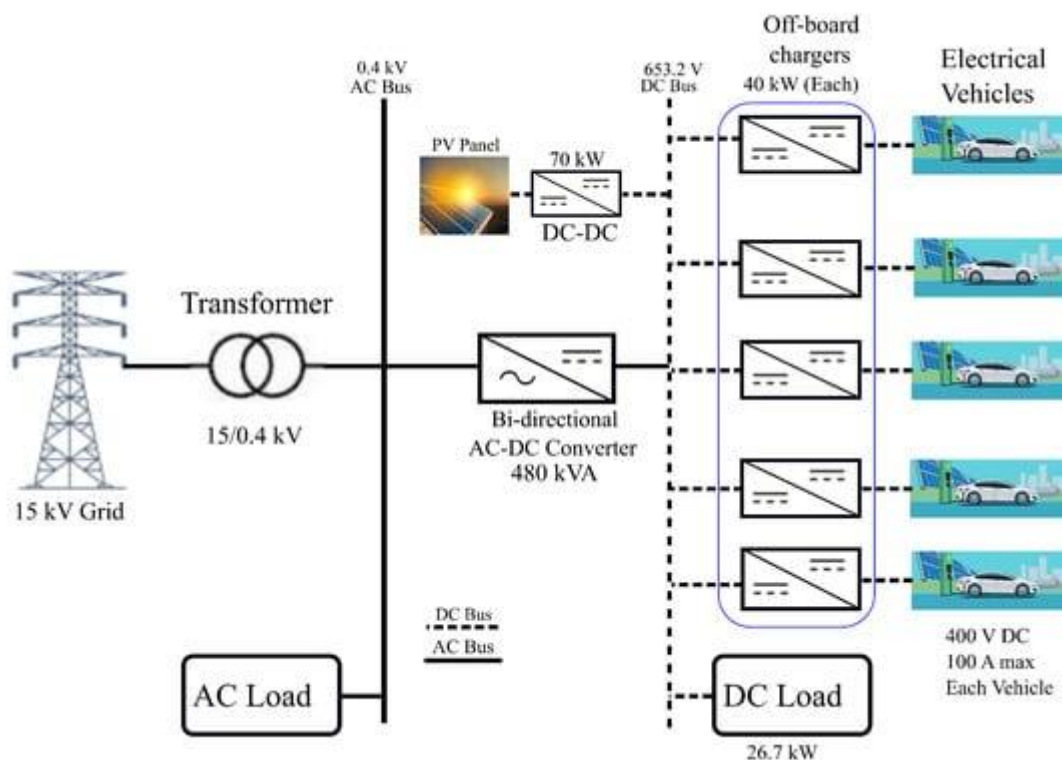


Рисунок 2.1 - Ілюстрація мікромережі, яка передбачає одночасне заряджання та розряджання автомобіля

2.2.1. Інвертор, підключений до мережі

Це двонаправлений перетворювач інтерфейсу між нескінченною мережею змінного струму та ланкою постійного струму. Це частина мікросітки, яка пов'язує її з нескінченною сіткою. Він виготовлений зі сторони мережі змінного струму, який перетворюється на постійний у ланці постійного струму. На цій частині побудована частина керування для фіксації ланки постійного струму на заданому значенні. Він виготовлений з керованого двонаправленого вхідного перетворювача AC-DC. Це трифазний двонаправлений AC-DC і керований перетворювач, виготовлений з IGBT. Перетворювач підключається

до мережі через апРЛ дросель 1μ ω 500μ h відповідно, як показано далі в таблиці 2.1. Дросель означає фільтр для зменшення гармонік. Той самий дросель, також відомий як дросель випрямляча, відображається як L_{grid} на рисунку 2.2 і визначається як у [42]. Напруга мережі $400_{врмс}$ фаза-фаза, на частоті мережі 50х_3 . Мережа імітується в трифазне джерело напруги зазначеної напруги та частоти відповідно. Він представляє опір джерела $R_{джерела}$ та індуктивність джерела $L_{джерела}$ як $100\text{м} \omega 40\mu\text{h}$, відповідно.

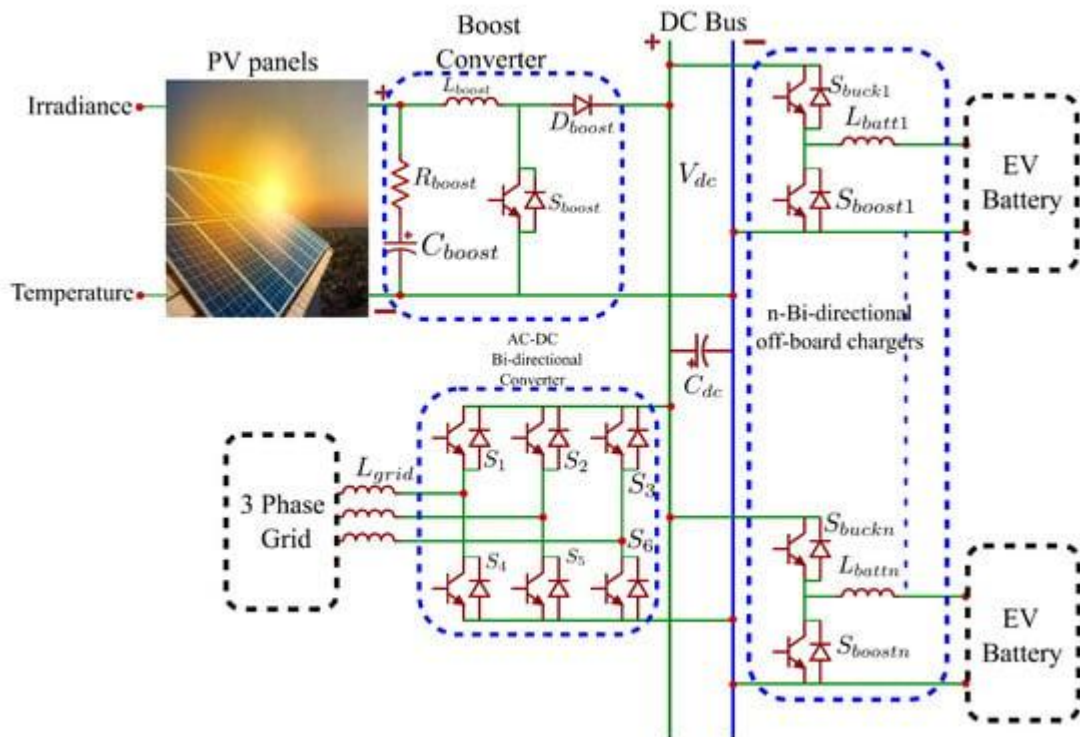


Рисунок 2.2. - Ілюстрація мікромережі, яка передбачає одночасне заряджання та розряджання автомобіля

Як показано на рисунку 2.2 , перетворювач змінного струму в постійний струм, підключений до мережі, забезпечує відповідний рівень напруги ланцюга постійного струму. Очікувана напруга ланцюга постійного струму витягується з напруги мережі за допомогою рівняння (2.1.).

$$V_{dc} = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}} V_{LLrms} \quad (2.1)$$

Напруга та струм мережі фіксуються датчиками напруги та струму відповідно. На останньому, abc до $\alpha\beta 0$, abc до dq0 або $\alpha\beta 0$ до dq0 виконуються. Для визначення задовільного синхронного кута використовується схема фазової автопідстройки частоти (PLL) ωt як показано на рисунку 2.4.

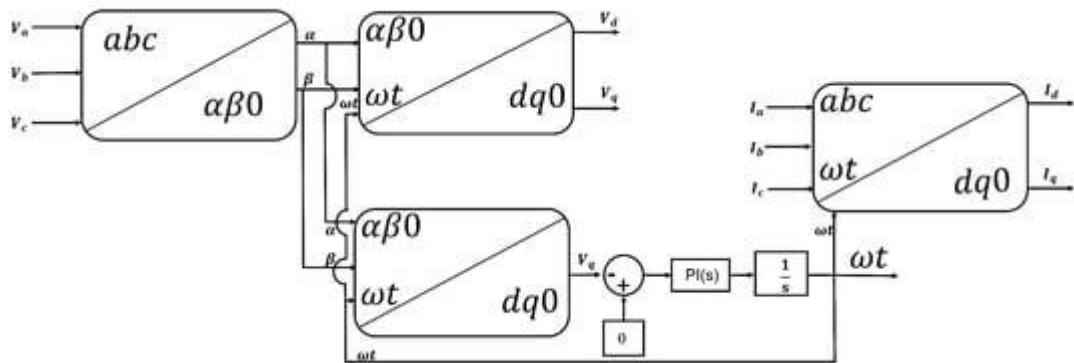


Рисунок 2.4 - Ілюстрація перетворення та PLL

Крім визначення синхронного кута ωt , схема фазч на рисунку 1.4 показує напругу та струм мережі dq0

Система відліку. Зовнішній контур осі d контролює напругу шини постійного струму, тоді як внутрішній контур контролює активний змінний струм [42], як показано на рисунку 2.3. У разі двонаправленого застосування на зміни напруги шини постійного струму впливає позитивний або негативний струм через напрямок потоку енергії. Зовнішній контур осі q регулює величину напруги змінного струму, регулюючи реактивний струм через контроль внутрішнього контуру осі q. Термін відокремлення ωl і сигнал прямої напруги додано для підвищення продуктивності перехідних процесів. На рисунку 1.3 представлена повна модель керування напругою ланцюга постійного струму та струмом мережі. Враховуючи рівняння (2.1) і рівень напруги мережі, цільовим є рівень напруги постійного струму 653,2 В з номінальною потужністю 432 кВт. Таким чином, шина постійного струму, показана на рисунках 2.1 і 2.2, є 653,2 В

2.2.2. Конфігурація зовнішніх зарядних пристроїв

Зовнішні зарядні пристрої — це електромобілі на місці та стаціонарні зарядні станції. Це зарядні пристрої, які не вбудовані в конструкцію автомобіля [43]. Як видно з рисунків 2.1 і 2.2, зовнішні зарядні пристрої є перетворювачами, які з'єднують електромобілі з шиною постійного струму. Конфігурація заряджання батареї складається з конфігурації двонаправленого перетворювача, який працює відповідно до напрямку потоку енергії. Він працює як дозар, коли живлення тече від мережі постійного струму до батареї EV, тобто в режимі заряджання або G2v. З іншого боку, він працює як підсилювач, коли енергія надходить від батареї електромобіля до ланки постійного струму (у напрямку до мережі), тобто в режимі розрядки V2g.

На рисунку 2.5 показано конфігурацію перетворювача зовнішнього зарядного пристрою. Потік енергії, тобто заряджання чи розряджання, визначається станом батареї EV, вартістю електроенергії та рішенням власника ev.

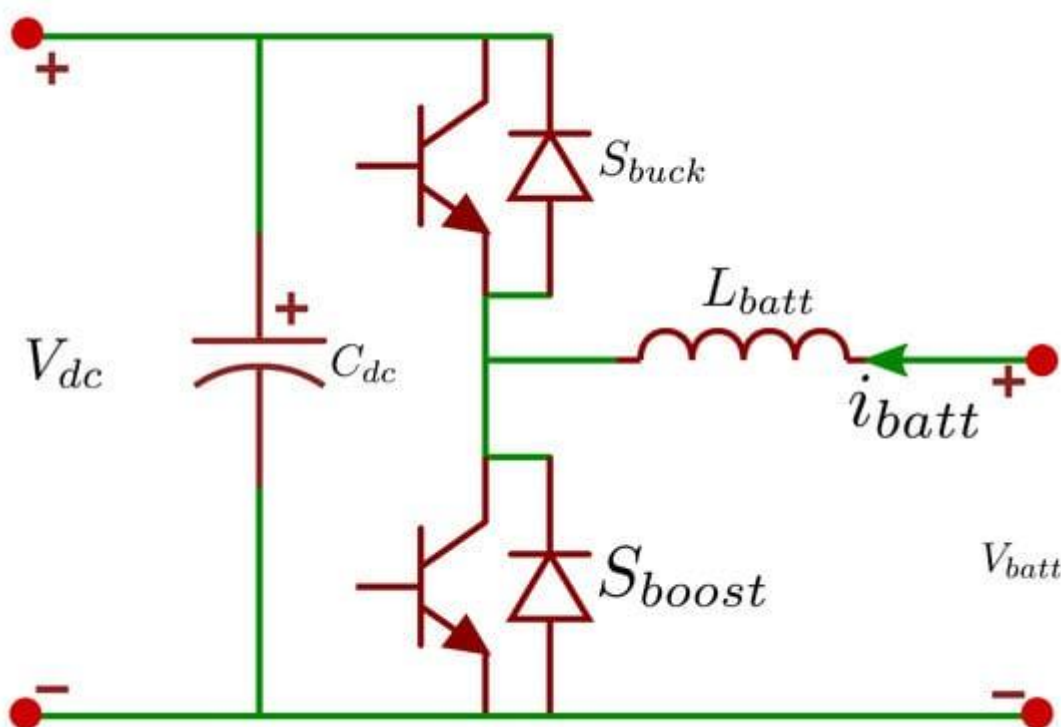


Рисунок 2.5. Еквівалентна схема двонаправленого зовнішнього зарядного пристрою

2.2.2.1. Контроль зарядки та розрядки EV

Реалізація зарядки або розрядки електромобілів виконується за допомогою алгоритму керування, показаного пізніше на моделі, зображеній на рисунку 2.6.

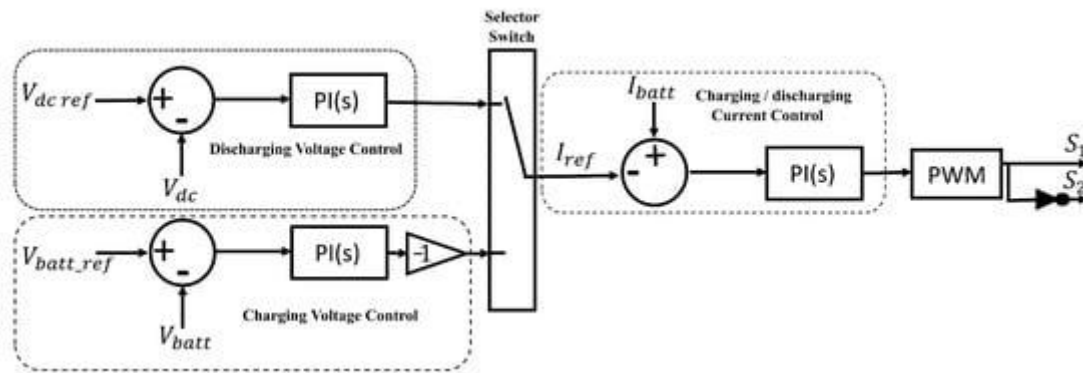


Рисунок 2.6 - Блок-схема вибору та керування заряджанням або розряджанням EV

На рисунку 2.6 видно, що модель є каскадним замкнутим контуром керування, у якому внутрішній контур контролює струм заряджання або розряджання батареї, тоді як зовнішній контур контролює напругу заряджання чи розряджання батареї. Контроль заряджання приймає опорну напругу від нормальної напруги батареї, яка, у свою чергу, генерує опорний зарядний струм батареї. Останній насичується при максимальному номінальному струмі зарядки. Цей процес керує зовнішнім зарядним пристроєм у режимі поглинання. З іншого боку, для керування розрядом використовується напруга ланцюга постійного струму, яка, у свою чергу, генерує еталонний розрядний струм, який також є насиченим і номінальним розрядним струмом батареї. Останній процес контролює режим підсилення автономного зарядного пристрою. Можна відзначити, що зарядний струм акумулятора негативний, а розрядний умовно позитивний.

2.1.2.2. Режим зарядки акумулятора

Ця ж модель контролює заряд і розряд акумуляторів електромобілів і фіксує їх у відповідному режимі зарядки. Зарядка або розрядка батареї здійснюється в двох режимах: постійного струму (CC) і постійної напруги (CV), як показано на рисунку 2.7. Налаштування режимів і струму заряджання сильно залежить від стану заряду (SOC) батареї (акумулятор EV). Залежно від SOC батареї зарядний струм починається з можливого максимального значення, тоді як зарядна напруга зростає. Коли напруга заряджання досягає контрольної напруги заряджання, струм заряджання починає зменшуватися до нуля, оскільки акумулятор стає повністю зарядженим. Це показано на рисунку 2.7.

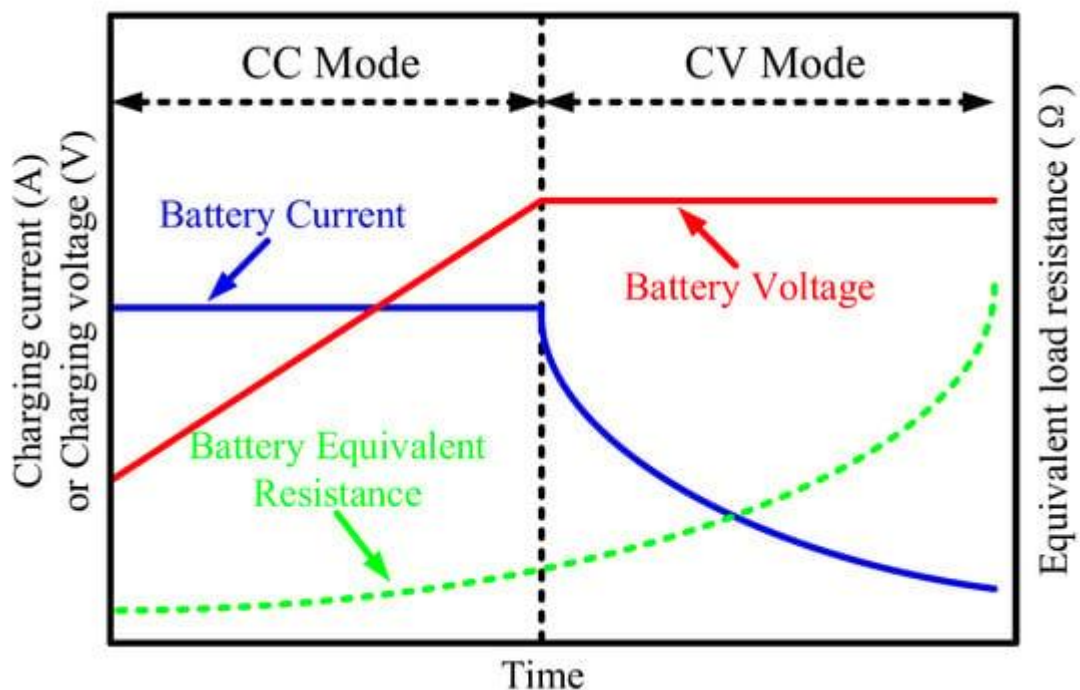


Рисунок 2.7 - Ілюстрація постійного струму та постійної напруги в режимі зарядки або розрядки акумуляторів

Той самий принцип діє у зворотному порядку, коли батарея розряджається. У деяких практичних випадках CC і CV розділяються при SOC 80%, отже, напруга розімкнутої батареї при 80% SOC відіграє роль відсікання для напруги заряджання. Подібним чином, номінальний струм розряду грає

відсічку на стороні зарядного струму. Це створює контрольні межі, представлені на рисунку 2.6.

2.2.3. Система живлення фотоелектричної матриці

Рисунок 2.8 походить від рисунка 2.2 і ілюструє процес генерації сонячної енергії та подачі її в ланцюг постійного струму. Він складається з фотоелектричної панелі та перетворювача DC-DC. Останній є підсилювачем, який підвищує напругу фотоелектричної системи до рівня напруги, необхідного для зв'язку постійного струму. Фотоелектрична батарея подає сонячну енергію постійного струму до основної ланки постійного струму через перетворювач DC-DC. Контроль у цій точці побудований для введення сонячної енергії в основну ланку постійного струму (і в мережу). Потужність, вироблена фотоелектричною батареєю, отримується за допомогою схеми, показаної на рисунку 2.8. Він складається з фотоелектричної системи, що складається з 14 послідовних модулів на 17 паралельних струнах. Остання конфігурація піддається впливу сонячного випромінювання за певної погодної температури та генерує сонячну енергію (за заданої напруги та рівня струму).

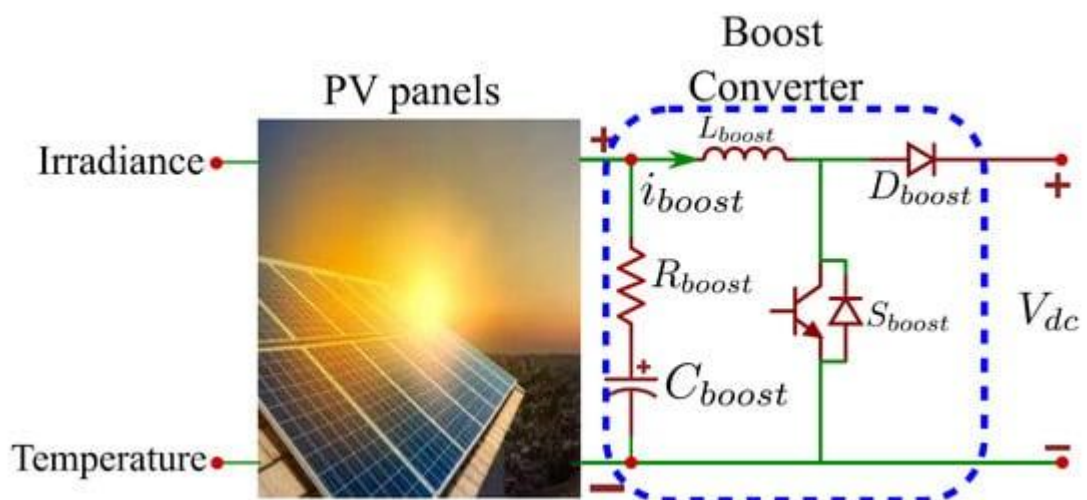


Рисунок 2.8. - Зображення подачі фотоелектричної системи в мережу

Маючи зміни в освітленості та температурі погоди, фотоелектрична батарея генерує електроенергію при заданому рівні напруги та струму. Фотоелектричну енергію можна використовувати як автономну, так і надсилати в мережу. У цьому випадку він підключений до мережі, і його потрібно адаптувати до рівня напруги, що відповідає мережі. Тому використовується допоміжний перетворювач постійного струму, як показано на рисунку 2.8. Збір сонячної енергії має бути максимально збільшеним, щоб зберегти ефективність системи. Отже, керування прискорювачем повинно враховувати максимізацію збору енергії.

Повну структуру керування підсилювачем показано на рисунку 2.9, де максимізація споживання енергії досягається шляхом застосування відстеження точки максимальної потужності (MPPT). Існує кілька алгоритмів, які використовуються для застосування MPPT в управлінні фотоелектричними системами, додаткова провідність є одним із них, і саме він застосований у цій роботі.

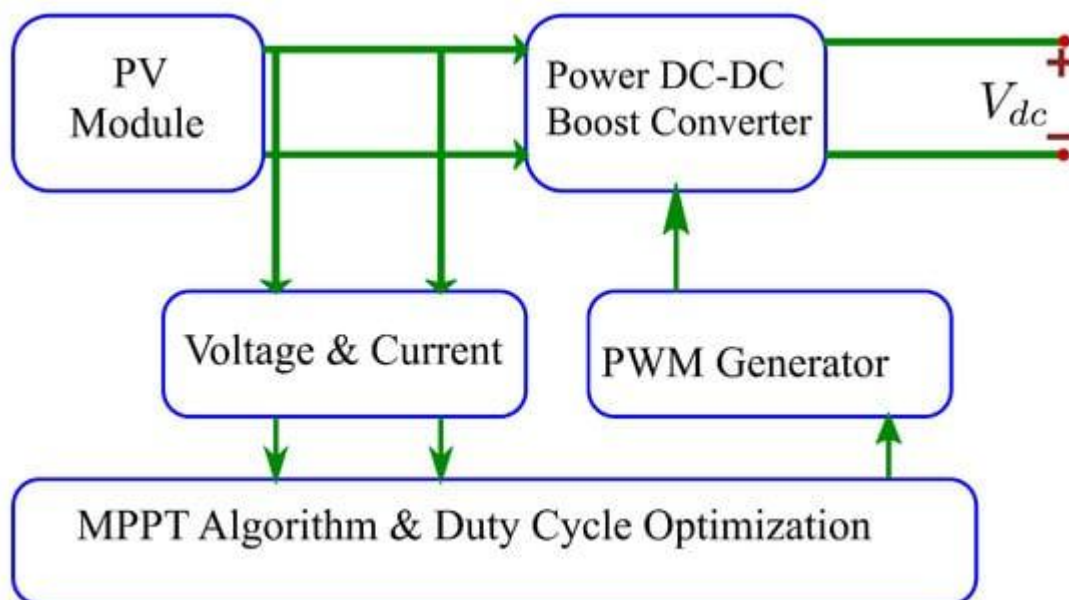


Рисунок 2.9 - Блок-схема, що вказує структуру керування MPPT

Струм і напруга фотоелектричного модуля використовуються в алгоритмі MPPT і створюють відповідний робочий цикл для правильного керування шім.

На рисунку 2.10. показано алгоритм інкрементної провідності для реалізації MPPT.

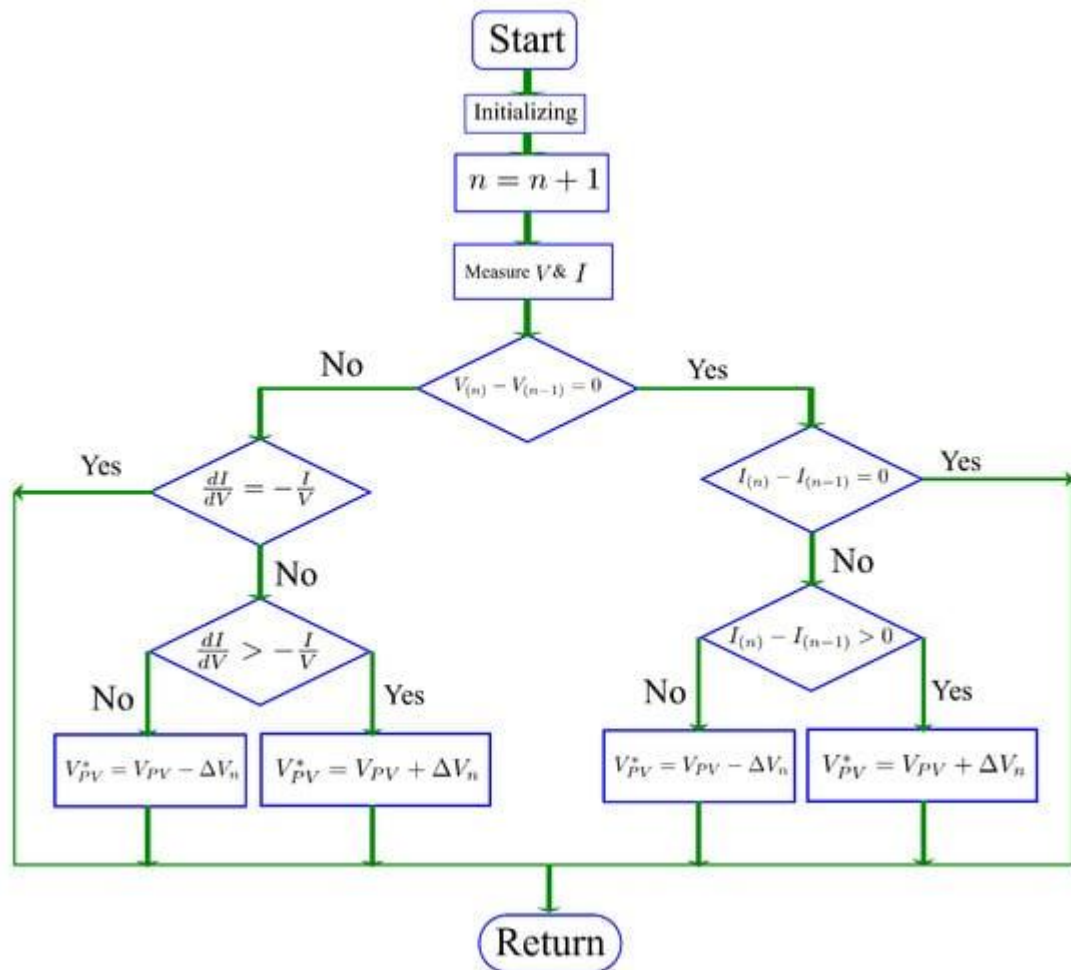


Рисунок 2.10 - Ілюстрація алгоритму інкрементної провідності

2.3. Режим роботи мікрогрід

Цей розділ ілюструє різні режими роботи, у яких вказуються різні потоки потужності. У цьому ж випадку показані відповідні термінології. Рисунок 2.11 отримано з рисунка 2.1 шляхом екструзії джерела сонячної енергії. Це з метою глибокого вивчення поведінки мережі за наявності одночасної зарядки та розрядки електромобілів та деяких інших навантажень постійного струму.

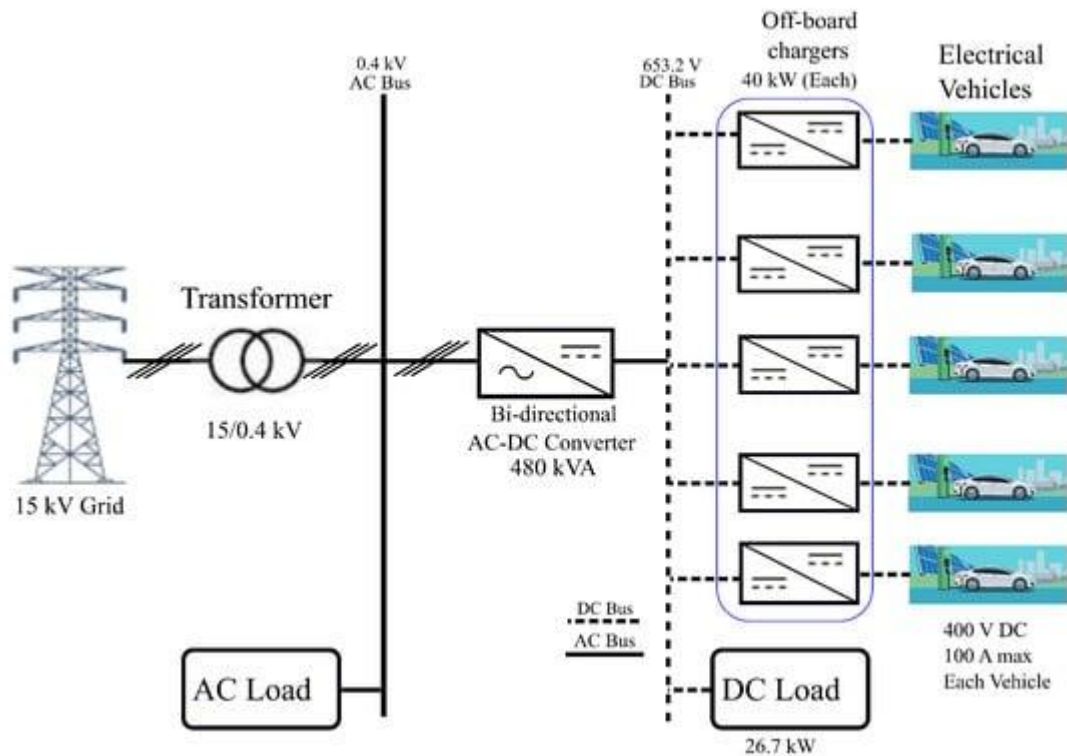


Рисунок 2.11 - Двонаправлений потік електроенергії: ілюстрація G2V і V2G

Виключення джерела сонячної енергії на цьому етапі становить першу частину цієї роботи. Він більше зосереджується на різних режимах, тобто режимах заряджання EV або G2V і EVS, які повертаються в мережу або V2G. Крім того, електромобілі на ланці постійного струму можуть заряджати один одного або в режимі V2V, і, нарешті, електромобілі можуть подавати живлення на решту навантажень постійного струму або V2X. Усі зазначені режими детально опрацьовані в цьому розділі.

2.3.1. G2V або режим зарядки

Батарея в режимі зарядки (G2V) складається з негативного струму (струму зарядки) на рівні відключення (CC). Зарядний струм починає зменшуватися до нуля, коли зарядна напруга досягає граничного значення

(CV). Зарядний струм досягає нуля, коли SOC становить приблизно 100%. У режимі G2V зовнішній зарядний пристрій працюватиме як понижуючий перетворювач. Він забезпечує правильний рівень зарядної напруги, нижчий, ніж напруга ланцюга постійного струму. Розглядаючи зовнішній зарядний пристрій, показаний на рисунку 2.5, у режимі пониження, верхній перемикач (C_{buck}) працює разом з антипаралельним діодом нижнього перемикача. Коефіцієнт навантаження зовнішнього зарядного пристрою дорівнює d , а напруга заряджання визначається рівнянням (2.2).

$$V_{bat} = V_{dc} * D \quad (2.2)$$

Коефіцієнт навантаження d знаходиться в діапазоні 0,0–1,0, отже, напруга на акумуляторів bat буде нижчою за напругу ланцюга постійного струму v_{dc} за співвідношенням d . Таким чином, останнє твердження ілюструє функціональні можливості понижувального конвертера.

2.3.2. V2V або режим розрядки

Коли батарея електромобіля повинна повертати електроенергію в мережу або до певного навантаження (частини мережі), потрібен бустер. Напруга батареї нижча, тому її потрібно підвищити до рівня напруги ланцюга постійного струму. Під час V2g струм батареї позитивний (струм розрядки), напруга батареї постійна (CV), поки струм не досягне межі відключення (CC). Таким чином, напруга починає знижуватися. SOC в цьому випадку також зменшується. Напруга батареї буде продовжувати знижуватися, поки SOC не досягне нуля, струм батареї впаде до нуля і розрядка не завершиться. Розглядаючи рисунок 2.5 в режимі підвищення, нижній перемикач (CBOOST) і діють паралельний діод верхнього перемикача. Конденсатора ланцюга постійного струму достатньо для стабілізації ланцюга постійного струму на необхідній напрузі, а режим підсилювача показано у рівнянні (2.3).

$$V_{dc} = \frac{V_{bat}}{1 - D_1} \quad (2.3)$$

де D_1 є обов'язком режиму посилення на рисунку 2.5.

2.3.3. V2v або комбінація режиму зарядки та розрядки

Vehicle-to-vehicle (V2V) — це платформа для зарядки електромобілів; де електромобілі з зарядними батареями можуть заряджати інші з батареями малої потужності без підтримки мережі чи будь-якого іншого джерела енергії. Це може бути через плагін або бездротову зарядку. У даній роботі розглядається варіант зарядки від плагіна. Як показано на рисунку 2.12, ця робота демонструє варіант заряджання V2V від розетки, коли електромобілі заряджаються або розряджаються на різних зовнішніх зарядних пристроях, які спільно використовують ту саму або взаємопов'язану шину постійного струму. Таким чином, електромобілі, що розряджаються, подають живлення до шини постійного струму, а від цієї ж шини електромобілі, що заряджаються, отримують живлення.

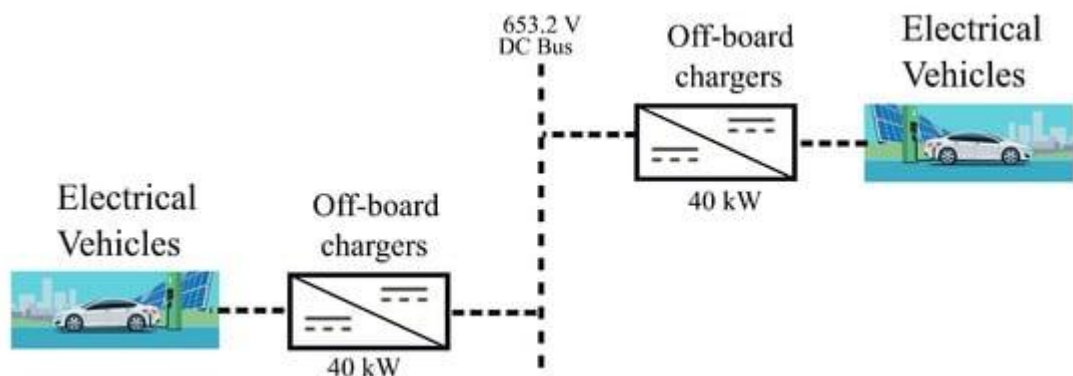


Рисунок 2.12. – Ілюстрація режиму V2V або від транспортного засобу до транспортного засобу, у якому один транспортний засіб заряджає інший

Це означає, що зовнішні зарядні пристрої можуть виконувати двонаправлені операції, як показано на рисунку 2.5, за допомогою елементів керування, показаних на рисунку 2.6.

2.3.4. V2X або випадок, коли транспортний засіб постачає різні навантаження на той самий автобус

Розглядається автономний зарядний пристрій з двонаправленими можливостями. Він з'єднує EV з рештою мережі через з'єднання постійного струму. Згаданий зовнішній зарядний пристрій призначений для опції плагіна.

Таким чином, EV підключить до ланки постійного струму та подайте живлення на шину постійного струму. З того ж автобуса; або інші електромобілі, або будь-яке інше навантаження можуть отримувати електроенергію без підтримки іншого джерела живлення. Отже, ev у подібному процесі називається V2X. Процес V2X показано на рисунку 2.13.

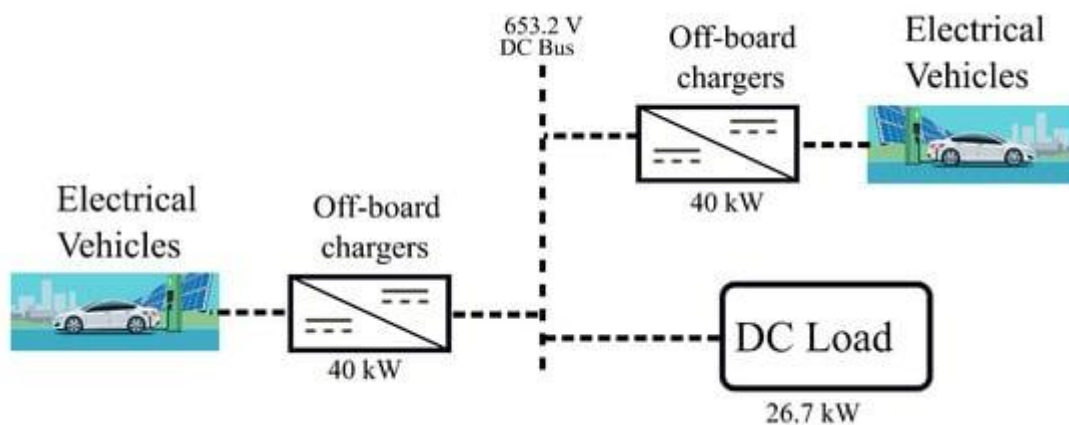


Рисунок 2.13. – Ілюстрація V2X або випадку, коли транспортний засіб постачає різні навантаження на одну шину

2.4. Аналіз потоку електроенергії мікромережі

Щоб зрозуміти та правильно проаналізувати потік електроенергії в мікромережі, слід враховувати наступні моменти:

1. P_G є потужністю мережі, вона може текти в обох напрямках всередині мікромережі. Це означає, що P_G є негативним, коли він тече до сітки та P_G є позитивним, коли він тече від мережі до електромобілів або навантаження.

2. P_{ev} - потужність EV, вона може текти в обох напрямках всередині мікромережі. Це означає, що P_{ev} негативним, коли батареї електромобілів заряджаються, і позитивним, коли батареї електромобілів повертають енергію в мережу, навантаження або інші електромобілі, що заряджаються.

3. P_{pv} - це потужність PV, і ця потужність завжди позитивна та односпрямована, оскільки вона віддає електроенергію або в мережу, або в електромобілі.

4. P_x є потужністю навантаження, шина постійного струму постачає деякі інші навантаження постійного струму. Щоб відрізнити, потужність EV, що заряджається, від'ємна і представлена як P_{ev} , тоді як розрядна потужність від електромобілів додатна і представлена як P_{ev} . Враховуючи задану кількість EV у мережі, як показано на рисунку 2.1, вони можуть заряджатися, розряджатися або обидва. У цьому випадку, щоб мати повне уявлення про потік електроенергії, необхідно проаналізувати різні сценарії. Повний потік потужності показано у рівнянні (2.4).

$$P_G = P_{PV} - \sum_{i=0}^{i=n-\psi} P'_{EV_i} + \sum_{i=\psi+1}^{i=n} P_{EV_i} + P_x \quad (2.4)$$

2.4.1. Усі електромобілі заряджаються від мережі

У цьому випадку мають місце такі умови:

1. Сонячна енергія $P_{pv}=0$, це означає, що сонячної енергії немає.

2. Немає електромобілів, які надсилають електроенергію до мережі; всі електромобілі заряджаються $P_{ev}=0$.

3. Жодне інше навантаження не споживає електроенергію.

Отже, потік потужності представлено виразом у рівнянні 2.5:

$$P_G = - \sum_{i=0}^{i=n} P'_{EVi} \quad (2.5)$$

Загальна кількість електроенергії, отриманої з мережі, повністю споживається електромобілями.

2.4.2. Усі електромобілі заряджаються від мережі за допомогою PV POWER INJECTION

У цьому випадку мають місце такі умови:

1. Сонячна енергія $P_{pv} > 0$; це означає, що є внесок сонячної енергії в мережу.

2. Є електромобілі, які надсилають електроенергію до мережі; всі електромобілі заряджаються $P_{ev} = 0$.

3. Жодне інше навантаження не споживає електроенергію.

Отже, потік потужності представлено виразом у рівнянні (2.6).

$$P_G = P_{PV} - \sum_{i=0}^{i=n} P'_{EVi}$$

$$P_G - P_{PV} = - \sum_{i=0}^{i=n} P'_{EVi} \quad (2.6)$$

Загальний попит, необхідний для електромобілів, повністю забезпечується фотоелектричною енергією, а решта компенсується мережею. Компенсація сітки також проілюстрована у рівнянні (2.6).

2.4.3. Одночасне заряджання та розряджання електромобілів у мережі без введення фотоелектричної енергії

У цьому випадку мають місце такі умови:

1. Сонячна енергія $P_{pv} = 0$, це означає, що сонячна енергія не надходить до мережі.
2. Деякі електромобілі подають електроенергію в мережу ($P_{ev} > 0$), тоді як інші отримують електроенергію від мережі або заряджаються ($-P_{ev} > 0$).
3. Жодне інше навантаження не споживає електроенергію.

Отже, потік потужності представлено виразом у рівнянні (2.7).

$$P_G = - \sum_{i=0}^{i=n-\psi} P'_{EVi} + \sum_{i=\psi+1}^{i=n} P_{EVi}$$

$$P_G - \sum_{i=\psi+1}^{i=n} P_{EVi} = - \sum_{i=0}^{i=n-\psi} P'_{EVi} \quad (2.7)$$

Загальний попит, необхідний для електромобілів, що заряджаються, повністю забезпечується електромобілями, що розряджаються, а решта компенсується мережею. Компенсація сітки також проілюстрована у рівнянні (2.8).

2.4.4. Одночасне заряджання та розряджання електромобілів у мережі за допомогою PV POWER INJECTION

У цьому випадку мають місце такі умови:

1. Сонячна енергія $P_{pv} > 0$; це означає, що є внесок сонячної енергії в мережу.
2. Деякі електромобілі подають електроенергію в мережу ($P_{ev} > 0$), тоді як інші отримують електроенергію від мережі або заряджаються ($-P'_{ev} > 0$).
3. Жодне інше навантаження не споживає електроенергію.

$$\begin{aligned}
 P_G &= - \sum_{i=0}^{i=n-\psi} P'_{EVi} + \sum_{i=\psi+1}^{i=n} P_{EVi} + P_{PV} \\
 P_G - \sum_{i=\psi+1}^{i=n} P_{EVi} - P_{PV} &= - \sum_{i=0}^{i=n-\psi} P'_{EVi}
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

Загальний попит, необхідний для заряджання ев, повністю підтримується розряджанням EV та PV потужністю, а решта компенсується мережею. Компенсація сітки також проілюстрована у рівнянні (2.8). Якщо комбінація потужності, що розряджається від електромобілів, і потужності pv перевищує загальний попит, тоді надлишок надсилається в мережу. У цьому випадку потужність мережі є від'ємною, оскільки мережа отримує.

2.5. Моделювання та результати

Згідно з рисунком 2.1, модель побудована в simulink з метою оцінки поведінки сітки, як описано виразом у рівнянні (2.4). Крім того, ця ж модель повинна використовуватися для перевірки інтеграції систем живлення G2V, V2G, v2x і PV до мережі. Таблиця 1 ілюструє використані параметри моделі SIMULINK.

2.5.1. Модель і моделювання simulink

Модель, що імітує рисунок 1.1, була побудована в SIMULINK. Модель починається з шини змінного струму та включає внесок фотоелектричної системи живлення. Врахування згаданої частини допоможе оцінити поведінку мережі під час випадкового заряджання та розряджання електромобілів. Отже, модель складається з джерела напруги 0,4 кВ, перетворювача AC-DC потужністю 480 кВа, ланцюга постійного струму 653,2 В, 5 зовнішніх зарядних пристроїв по 40 кВт кожен, резистивного навантаження 26,7 кВт (для EV і

ЕМВ) і 5 EV. 400 В постійного струму та максимальна батарея 100 а кожна. Кожен зовнішній зарядний пристрій підключається до ланки постійного струму, конденсатор якого 5 пФ. Індуктор зовнішнього зарядного пристрою, який називається L_{bat} на рисунку 1.5, 5,76 мГн, а конденсатор батареї 5,6 пФ. Модель літій-залізної батареї від simulink використовується як батарея EV. Зовнішні зарядні пристрої підключаються паралельно до мережі постійного струму, а 5 електромобілів підключаються до зарядних пристроїв. EV мають назви від EV0 до EV5 із відповідним SOC, як у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Ілюстрація SOC і станів електромобілів

EV	SOC	Sequence	Mode 1	Mode 2
EV0	15%	5	V2G	-
EV1	20%	4	V2G	G2V
EV2	30%	3	V2G	G2V
EV3	40%	2	V2G	G2V
EV4	60%	1	V2G	G2V
Load	-	6	Off	-

Спочатку всі електромобілі перебувають у режимі V2G (розрядка в мережу), а навантаження постійного струму від'єднано. Останній процес зазначено в таблиці 5.1 як режим 1. Як зазначено в тій самій таблиці, показана послідовність перемикавання з режиму 1 на режим 2 представлених електромобілів. Однак у режимі 2 навантаження постійного струму та EV0 були пропущені, оскільки вони не змінюють режим, тобто немає зарядки EV або ЕМВ, а EV0 продовжує розряджатися. Решта електромобілів перемикаються на G2V (заряджання від мережі) у режимі 2. Алгоритм і послідовність перемикавання з режиму 1 у режим 2 і навпаки разом із елементами керування заряджанням і розряджанням проілюстровано на рисунку 2.6 і в таблиці 5.1. Напруга відключення зовнішнього зарядного пристрою становить 433 В постійного струму, при цьому струм відсічки $\epsilon \pm 100$ А

2.5.2. Результати моделювання без сонячної інтеграції

Моделювання проводилося в SIMULINK протягом 2,5 с, зосереджуючись на: режимах зарядки та розрядки батареї (CC і CV), контролі напруги ланцюга постійного струму та контролю, V2G і G2V, а також повний профіль потужності мережі, щоб показати поведінку мережі.

На рисунку 2.14. показано режими CC і CV зарядки і розрядки акумулятора. EV2 показано як у режимі 1, так і в режимі 2, ілюструє той факт, що зарядний струм є постійним до того, як напруга досягне межі відключення, після відключення напруга є постійною, а струм починає зменшуватися, і навпаки.

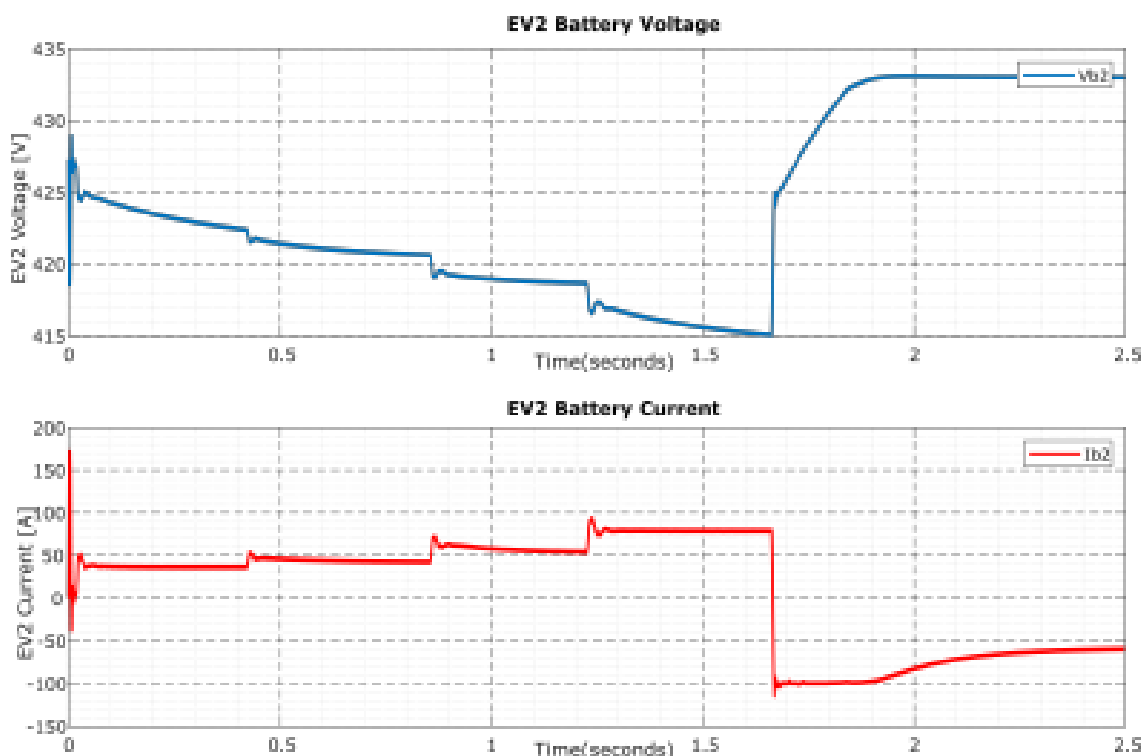


Рисунок 2.14. – Ілюстрація CC і CV у режимах mode1 і mode2

На рисунках 2.15 і 2.16 показано поведінку різних батарей у режимах 1 і 2 відповідно до послідовності зміни режимів. Під час заряджання акумуляторів електромобілів напруга зростає, а струм є негативним. При розрядці напруга зменшується і струм позитивний. На тих самих рисунках показано елементи керування заряджанням і розряджанням, які реагують належним чином.

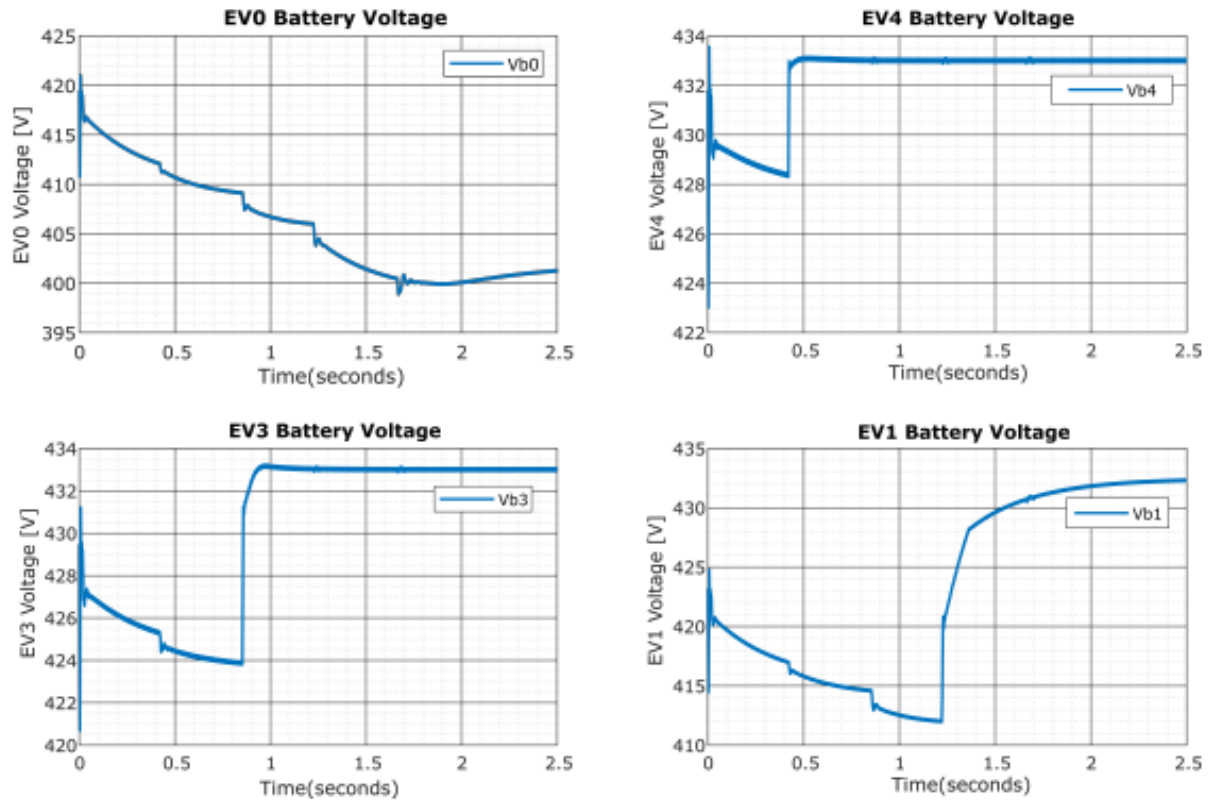


Рисунок 2.15 – Напруга батареї в режимі 1 і 2

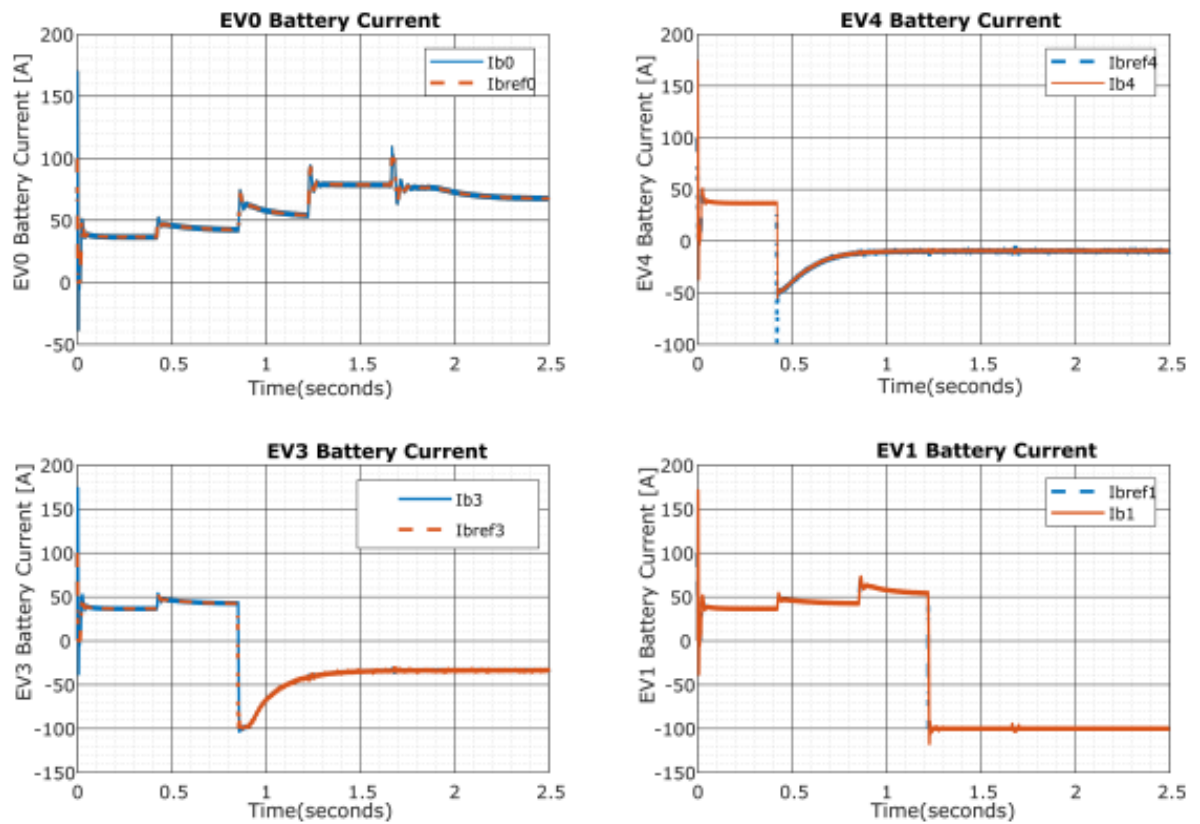


Рисунок 1.16 – Елементи керування струмом батареї в режимах 1 і 2

У цій роботі згадувалося про стабілізацію ланки постійного струму. Це було досягнуто за допомогою каскадного керування, у якому внутрішній цикл керує Д-осьовий струм, тоді як зовнішній контур регулює напругу ланцюга постійного струму. На рисунку 2.17 показано результати обох зазначених контролів і відстеження відповідає очікуванням.

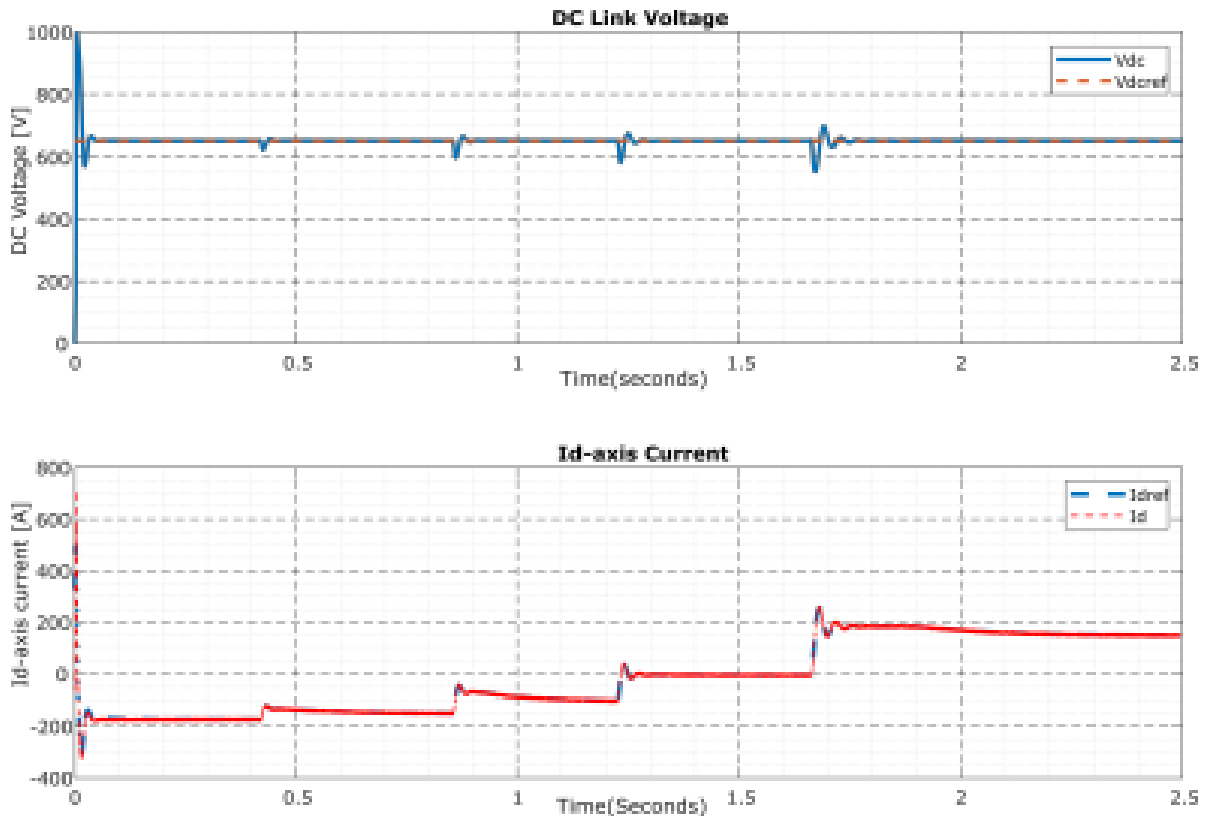


Рисунок 2.17 – Регулювання струму зв'язку постійного струму та осі id

Напруга та струм мережі представлені на рисунку 2.18. У режимі G2V струм і напруга збігаються по фазі і дорівнюють 180° .

Поза фазою у V2G. Немає джерела живлення від мережі, коли джерело живлення від деяких електромобілів у V2G може задовольнити потреби електромобілів у G2V та навантаження постійного струму (заряджання електромобілів та електромобілів). У цьому випадку потужність від мережі дорівнює нулю, і створюються нові режими роботи від автомобіля до автомобіля (V2V) або від автомобіля до вантажу (V2X).

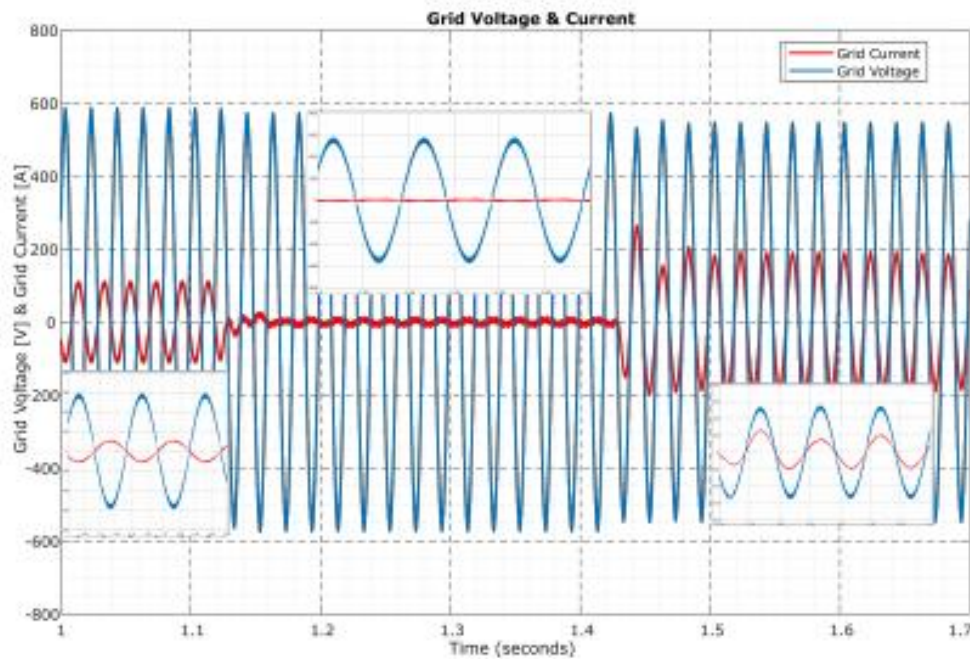


Рисунок 2.18 – Напруга мережі та струм мережі

Повний профіль активної потужності показано на рисунку 2.19. Від’ємна активна потужність від 0 до 1,2 с показує режим V2G, тобто електромобілі повертають електроенергію в мережу та забезпечують навантаження постійного струму. Нульова активна потужність (від 1,2 до 1,7 с) означає, що потужності від деяких ес (у V2G) достатньо для підтримки решти ЕС (у G2V) і навантаження постійного струму. Отже, немає ні попиту з мережі, ні електроенергії, що повертається до мережі. Від 1,7 до 2,5 с активна потужність мережі позитивна. Це вказує на те, що потужності від деяких електромобілів (у V2G) недостатньо для підтримки попиту від решти електромобілів (у G2V) і навантаження. Необхідне втручання в мережу, і воно ілюструє режим g2v разом з деякими допоміжними режимами: V2V, V2X і G2X.

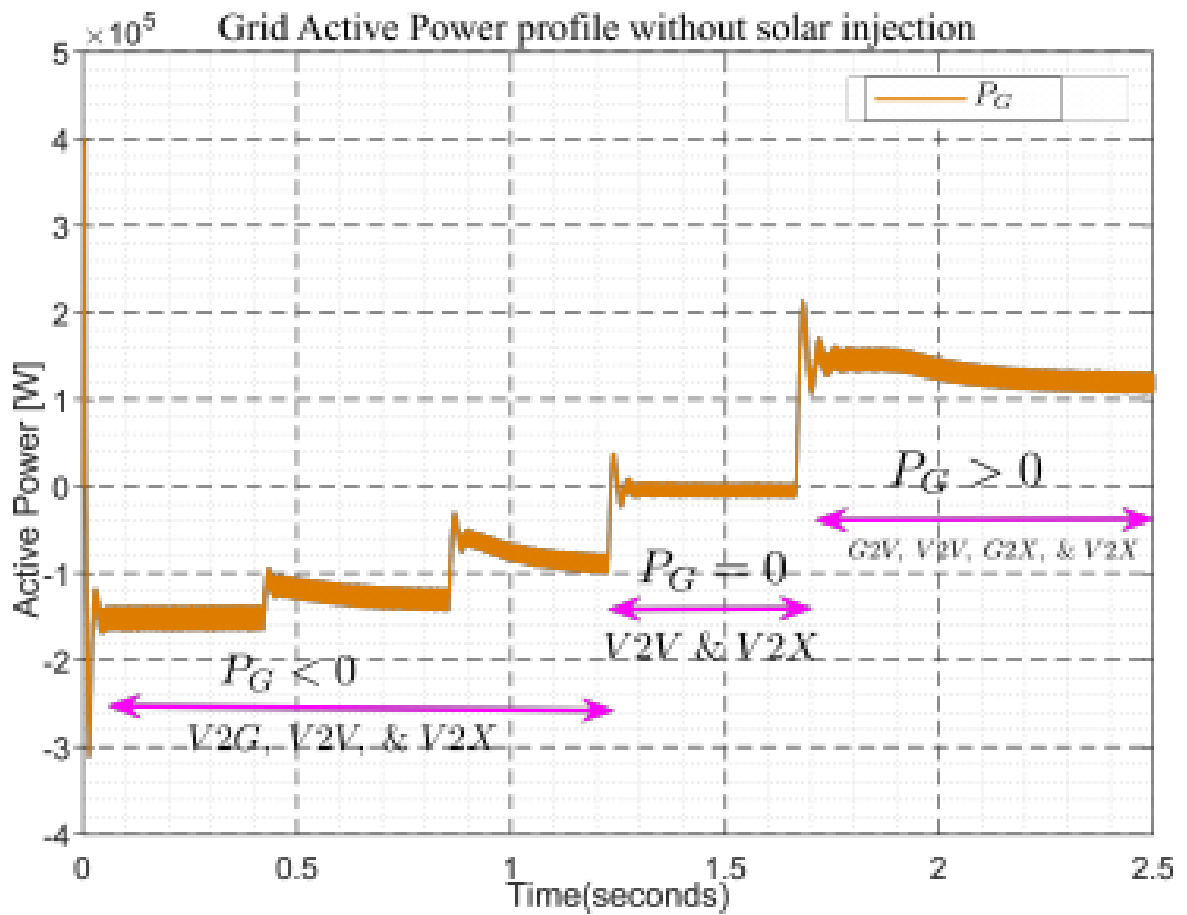


Рисунок 2.19 – Профіль активної потужності мережі

2.5.3. Результати моделювання з сонячною інтеграцією

Модель SIMULINK у цьому випадку будується відповідно до рисунків 2.1 і 2.2 , і враховується сонячний внесок. Параметри мережі та електромобілів залишаються незмінними, як і раніше, з додатковим внеском системи сонячної енергії. Опромінюваність зростає до максимального значення 1 тис/м² при середній температурі навколишнього середовища 25°C. Освітлення та погодна температура є основними вхідними параметрами для фотоелектричної панелі, щоб вона виробляла електроенергію. Крім того, вироблена сонячна енергія залежить від структури та параметрів фотоелектричної батареї.

2.5.3.1. Структура pv масиву

PV-матриця була доволіно визначена в SIMULINK. Це визначений користувачем тип масиву з 14 послідовно з'єднаних модулів на рядок і 17 паралельних рядків. Він складається з рядків, параметри модулів яких детально описані в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. – Ілюстрація визначених користувачем параметрів модуля в SIMULINK

Module: User Defined Module	
Items	Values
Maximum Power [W]	213.15
Cells per Module (Ncells)	60.00
Open Circuit Voltage (VoC) [V]	36.30
Voltage at Max Power Point [V]	29.00
Current at Max Power Point [A]	7.35
Temperature Coeff. of VoC [%/°C]	-0.36099
Temperature coeff. of Isc [%/°C]	0.102

Характеристики IV та PV фотоелектричної матриці показано на рисунку 2.20. Оскільки температура погоди, як очікується, залишатиметься постійною протягом усього часу дослідження, на рисунку 2.20. показано можливі максимальні параметри потужності, які слід відстежувати. Для дослідження температура погоди вважається постійною (25°C), протягом усього періоду дослідження (4 год). У тому ж діапазоні часу опромінення змінюється, як детально показано на рисунку 2.21. З останньої цифри освітлення досягає максимального рівня через дві години. Це час максимального збору енергії. Пізніше опромінення починає зменшуватися до нуля. Потужність фотоелектричної панелі прямо пропорційна опроміненості. Таким чином, профіль потужності точно відстежуватиме профіль освітленості на рисунку 2.21.

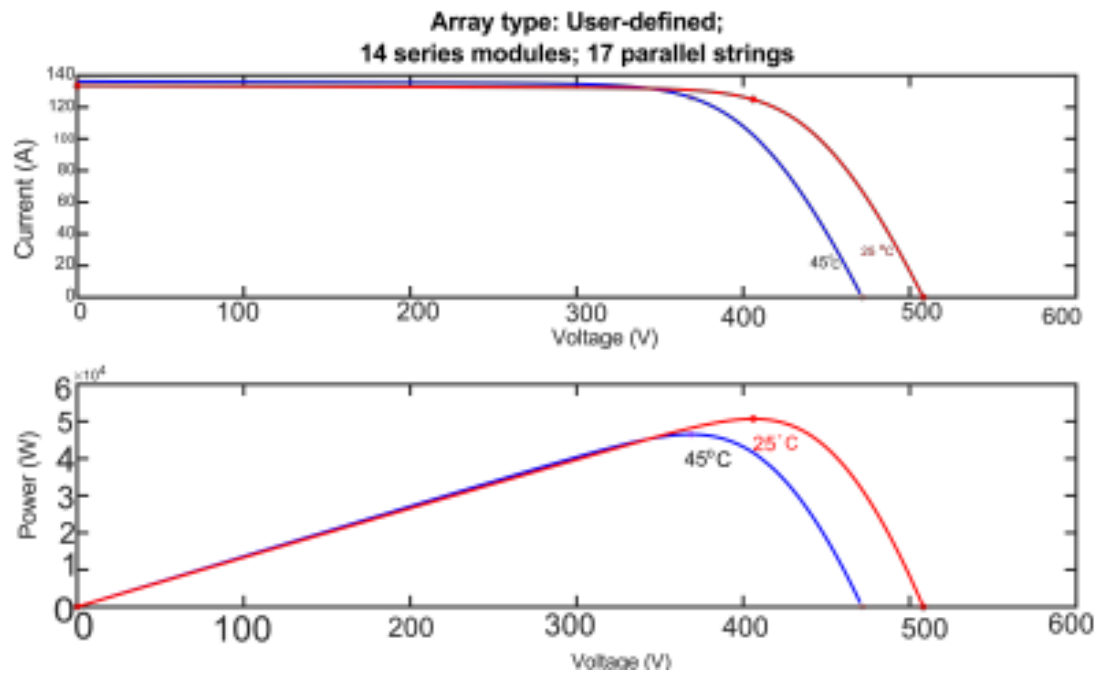


Рисунок 2.20 – Ілюстрація генерації електроенергії фотоелектричної матриці з урахуванням освітленості та температури погоди

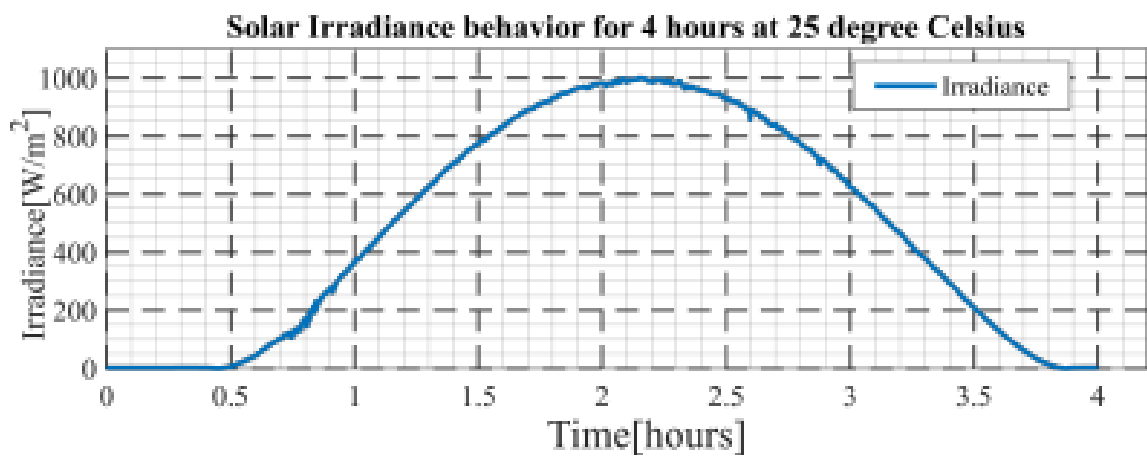


Рисунок 2.21 – Ілюстрація поведінки опромінення протягом 4 годин при температурі 25 градусів

2.5.3.2. Профіль сонячної енергії

Енергія, вироблена сонячною фотоелектричною батареєю, надсилається в мережу через процес перетворення енергії, показаний на рисунку 2.8. Рівень

напруги на виході фотоелектричної матриці нижчий порівняно з рівнем напруги, необхідного для ланки постійного струму. Таким чином, підсилювач використовується для забезпечення необхідного рівня напруги від рівня, згенерованого фотоелектричною батареєю. Структура фотоелектричної матриці та потужність визначені на рисунку 2.20. Збір і передача енергії базуються на механізмі відстеження точки максимальної потужності (MPPT). Елемент керування показано на рисунку 2.9. Алгоритм керування застосовує інкрементну провідність, і його повна структура показана на рисунку 2.10.

Алгоритм керування відстежує передачу потужності, як показано на рисунку 2.22. Останнє підтверджує правильність роботи управління MPPT.

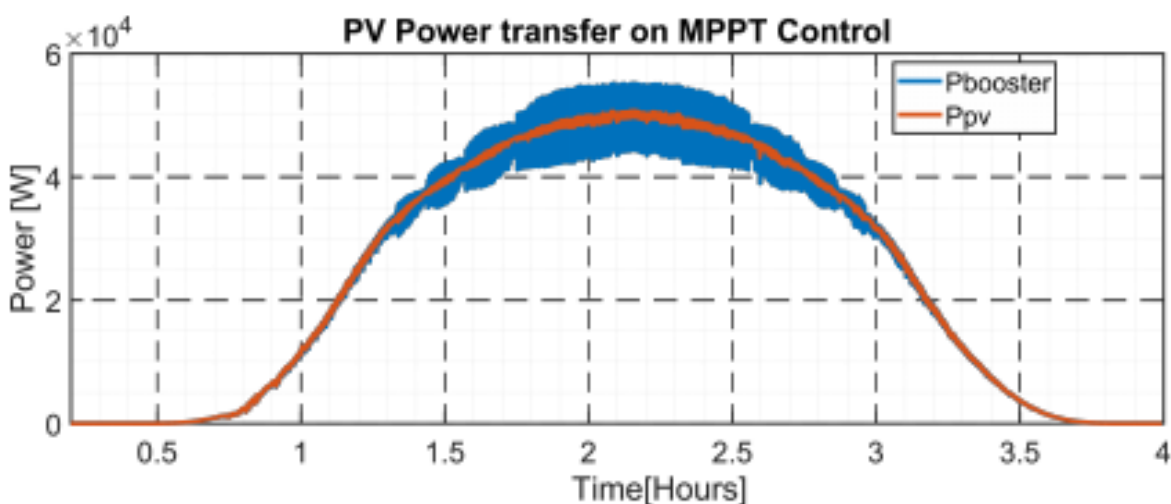


Рисунок 2.22 – Профіль передачі фотоелектричної енергії від фотоелектричної енергосистеми до мережі

2.5.3.3. Поведінка мережі через введення сонячної енергії

У цьому випадку вважається, що мережа не має навантаження, і всі електромобілі не підключені ні до зарядки, ні до розрядки. Фотоелектрична енергія вводиться в мережу, щоб оцінити її поведінку.

У цій ситуації поведінка сітки проілюстрована на рисунку 2.23. Останнє показує, що на початку сонячна енергія дорівнює нулю. Отже, мережа працює

без навантаження; він має нульовий струм. Потужність і в цьому випадку дорівнює нулю. Коли фотоелектрична батарея починає подавати електроенергію в мережу, струм мережі починає зростати, але в 180° .

Не по фазі відносно напруги мережі. Останнє є індикатором того, що мережа отримує електроенергію. Таким чином, потужність мережі є від'ємною, як показано на рисунку 2.23.

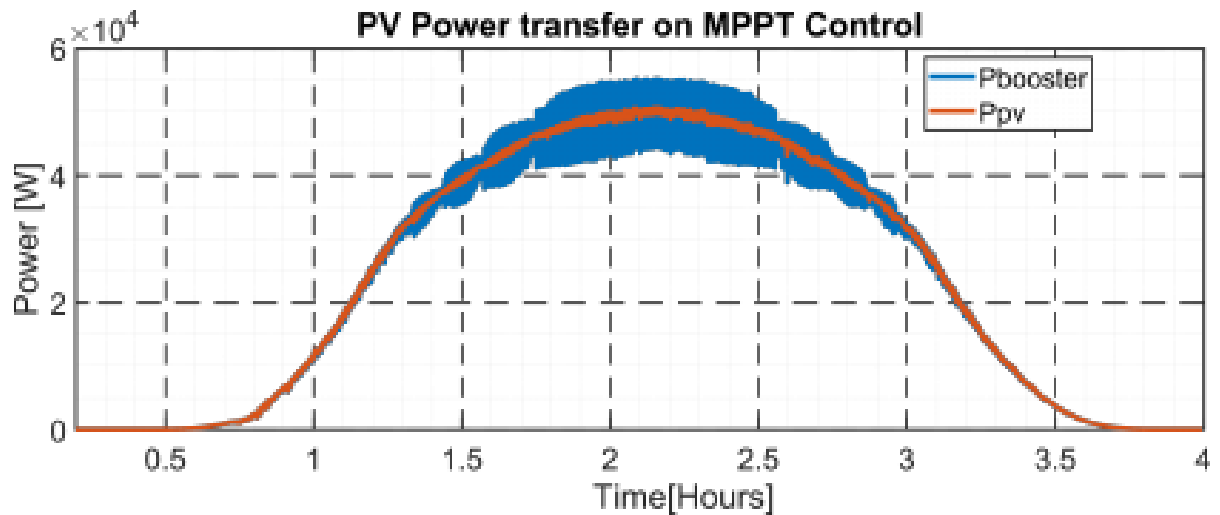


Рисунок 2.23 – Напруга та струм мережі з ін'єкцією фотоелектричної енергії

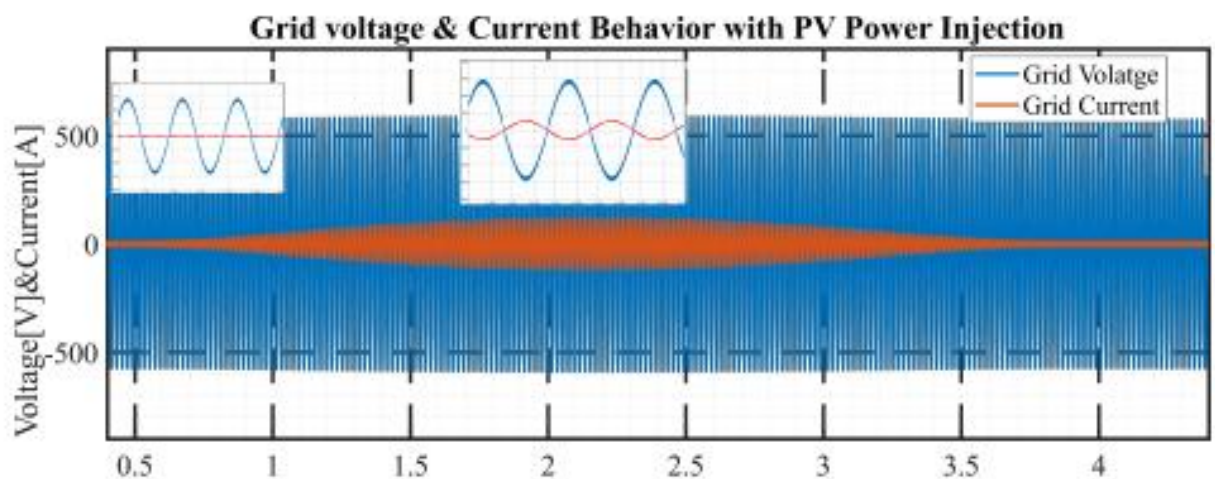


Рисунок 2.24 – Фотоелектрична потужність, що подається в мережу

2.5.3.4. Профіль сітки без інтеграції ev

На рисунку 2.24. показано профіль активної потужності мережі, коли фотоелектрична потужність подається в мережу без навантаження. На початку потужність $P_{Wппв} = 0$, тому потужність мережі $P_g = 0$

Коли фотоелектрична енергосистема починає подавати електроенергію в мережу, її потужність $P_g < 0$ як сітка отримує. Потужність фотоелектричної системи $P_{pv} > 0$

Оскільки фотоелектрична система живлення подає електроенергію. Результатом цього явища є рівняння (2.9).

$$P_{PV} = -P_G \quad (2.9)$$

2.5.3.5. Профіль сітки з інтеграцією EV

На рисунку 2.25 показано профіль активної потужності мережі, коли фотоелектрична енергія подається в мережу, а різні електромобілі одночасно заряджаються та розряджаються. На початку фотоелектрична потужність вводиться в мережу і поступово збільшується. Так само всі електромобілі надсилають електроенергію в мережу.

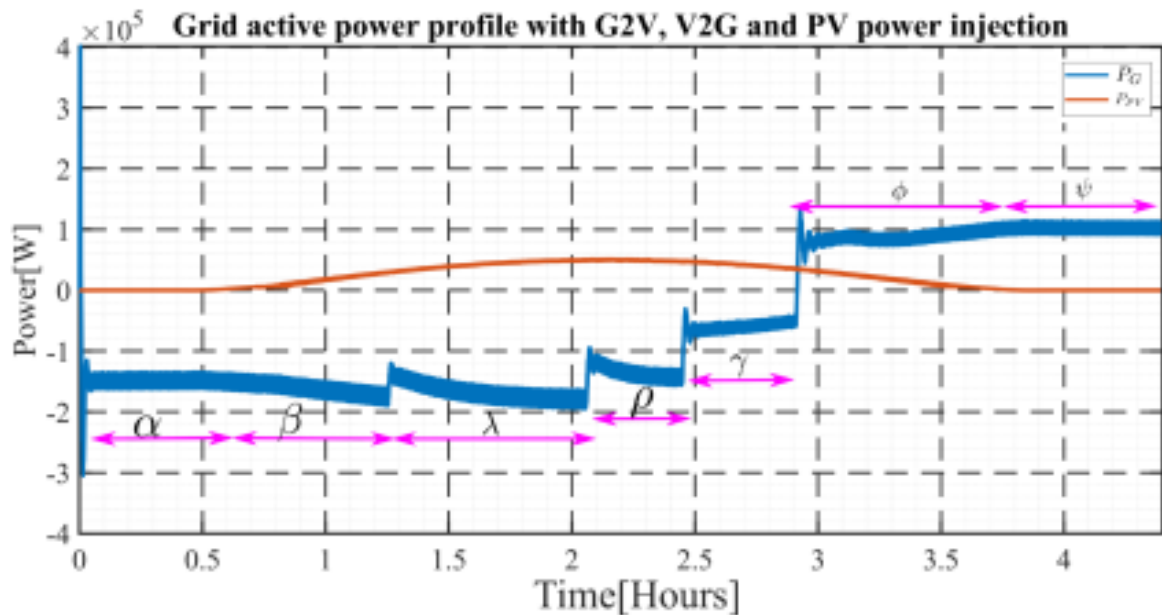


Рисунок 2.25 – Профіль активної потужності мережі з інжекцією фотоелектричної енергії, зображення G2V і V2G

Отже, напрямок потоку потужності в точці загального зв'язку є негативним на початку; він продовжує бути негативним, оскільки електромобілі поступово повертаються до режиму заряджання, дотримуючись послідовності, наведеної в таблиці 2.2. Після цього всі еВ перейшли на зарядку, крім EV0, який не змінює стан; потреба в електроенергії з мережі вища, ніж введена. Тому потужність мережі стає додатною, оскільки мережа віддає потужність. Під час цього процесу електромережа інтелектуально підтримується фотоелектричною енергією, поки остання повністю не вимкнеться. Таким чином, мережа має повністю зарядити решту електромобілів, які частково підтримуються EV0.

1. α Означає ситуацію, коли фотоелектрична система підключена до мережі, але не виробляє електроенергію. У той час як електромобілі (EV0, EV1, EV2, EV3&E4) посилають електроенергію в мережу. Зазначений випадок продемонстровано на виразі в рівнянні (2.10).

$$-P_G = \sum_{i=0}^{i=4} P_{EVi} \quad (2.10)$$

Оскільки мережа отримує електроенергію від електромобілів, це сценарій v2g. Тому активна потужність мережі є негативною.

2. β Означає ситуацію, коли сонячна система підключена до мережі та починає виробляти електроенергію; електромобілі (EV0, EV1, EV2, EV3&E4) посиляють електроенергію в мережу. Зазначений випадок вказано у виразі у рівнянні (2.11).

$$-P_G = \sum_{i=0}^{i=4} P_{EV_i} + P_{PV} \quad (2.11)$$

Мережа отримує електроенергію як від електромобілів, так і від фотоелектричної системи, отже, потужність мережі буде більш від'ємною.

3. Λ ; в цьому випадку (EV0, EV1, EV2, EV3&E4) посиляють електроенергію до мережі AEV4 почав зарядку. Фотоелектричні сонячні системи підключені до мережі та все більше виробляють електроенергію. Згаданий випадок вказано у виразі у рівнянні (2.12).

$$-P_G = \sum_{i=0}^{i=3} P_{EV_i} - P'_{EV4} + P_{PV} \quad (2.12)$$

Мережа отримує електроенергію від деяких електромобілів і фотоелектричних систем і передає електроенергію решті електромобілів, отже, активна потужність мережі почне трохи ставати позитивною.

4. ρ , в даному випадку V0, EV1 і EV2, посиляють електроенергію в мережу; в той час як EV4 і EV3 почав зарядку. Фотоелектрична сонячна система підключена до мережі та генерує максимальну потужність. Ілюстрований випадок показано у виразі в рівнянні (2.13).

$$-P_G = \sum_{i=0}^{i=2} P_{EV_i} - \sum_{i=3}^{i=4} P'_{EV_i} + P_{PV} \quad (2.13)$$

Мережа отримує електроенергію від деяких електромобілів і фотоелектричних систем і передає електроенергію решті електромобілів, тому активна потужність мережі все більше і більше стає позитивною.

5. They, в даному випадку V0, EV1 надсилають електроенергію до мережі, V0, EV1 і EV2 почав зарядку. Фотоелектричні сонячні системи підключено до мережі, і вироблена електроенергія почала зменшуватися. Ілюстрований випадок показано у виразі в рівнянні (2.14).

$$-P_G = \sum_{i=0}^{i=1} P_{EV_i} - \sum_{i=2}^{i=4} P'_{EV_i} + P_{PV} \quad (2.14)$$

Мережа отримує електроенергію від деяких електромобілів і фотоелектричних систем і передає електроенергію решті електромобілів, отже, активна потужність мережі все більше й більше наближатиметься до нуля. Мережа майже починає віддавати електроенергію, а не отримувати.

6. ф, в даному випадку EV0 надсилають електроенергію до мережі, AEV4, EV3, EV2 і EV1

Почав зарядку. Фотоелектрична сонячна система підключається до мережі, і вироблена електроенергія починає прагнути до нуля. Ілюстрований випадок показано у виразі в рівнянні (2.15).

$$P_G = P_{EV0} - \sum_{i=1}^{i=4} P'_{EV_i} + P_{PV} \quad (2.15)$$

Мережа отримує електроенергію від деяких систем електропостачання EV0 і PV (яка трохи прагне до нуля) і подає електроенергію на решту електромобілів, отже, активна потужність мережі додатна. Мережа починає надсилати електроенергію замість того, щоб отримувати, і підтримка від фотоелектричної системи майже вимкнена.

7. ψ, в даному випадку EV0 надсилають електроенергію до мережі, AEV4, EV3, EV2 і EV1

Починає заряджатися. Фотоелектричну сонячну систему підключають до мережі та вимикають. Ілюстрований випадок показано у виразі в рівнянні (2.16).

$$P_G = P_{EV0} - \sum_{i=1}^{i=4} P'_{EVi} \quad (2.16)$$

Мережа отримує електроенергію від деяких EV0 і передає електроенергію решті EV, отже, активна потужність мережі додатна. Фотоелектрична потужність підключена, але її внесок дорівнює нулю.

2.5.4. Результати моделювання у випадку V2V

Випадок V2V змодельовано на основі моделі, побудованої в SIMULINK, а його результати проілюстровано на рисунку 2.12, а його результати проілюстровано на рисунку 2.26. Він розглядає два електромобілі, взаємно пов'язані за допомогою зв'язку постійного струму. Один з них подає живлення в ланку постійного струму, а інший заряджає від ланки постійного струму. Кожна батарея електромобіля має напругу 400 В і 100 А для кожного електромобіля. Оскільки зарядний або розрядний струм сильно залежить від стану заряду батареї (SOC); SCO батареї, що розряджається, встановлено на 80% (аккумулятор має достатню потужність), SOC батареї, що заряджається, встановлено на 15% (батарея майже розряджена).

$$\sum_{i=0}^{i=n-\psi} P_{EVi} = - \sum_{i=\psi+1}^{i=n} P'_{EVi} \quad (2.17)$$

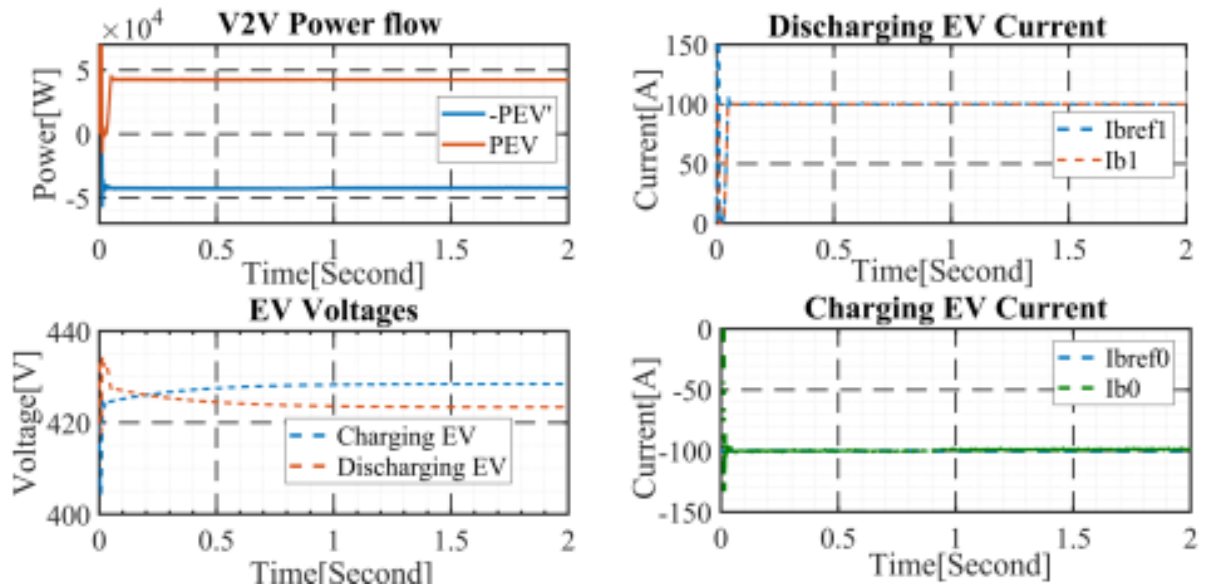


Рисунок 2.26 – Ілюстрація процесу v2v у мікромережі

Рівняння (2.26) ілюструє вираз $v2v$. У цьому випадку внески мережі та сонячної енергії є нульовими.

Інжекція реактивної потужності, регулювання та компенсація під час перетворення змінного струму в постійний і навпаки, а також вплив дисбалансу потужності та навантаження, а також вплив опорів та індуктивності відгалужень не беруть участь у цьому дослідженні. Проводиться подальше вивчення, і ці питання будуть опубліковані в наступних роботах.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

Ця робота проілюструвала мікромережу, що складається з: розширеної мережі, двонаправлених зарядних станцій для електромобілів, фотоелектричного джерела живлення, електромобілів та навантажень, таких як етв. Основною метою було зробити електромобілі частиною системи управління електромережею; про роль накопичувачів енергії як реакції на використання фотоелектричної енергії. Крім того, це мало гарантувати, що електромобілі не стануть тягарем для мережі, а стануть рішенням для закриття циклу чистого нуля. Мета полягала в тому, щоб зрозуміти поведінку мережі під час одночасного заряджання та розряджання електромобілів, а також введення фотоелектричної енергії в мережу. Ця робота демонструє, що одночасне заряджання та розряджання електромобілів у мережі доведено та можливо. Електромобілі, що розряджаються, передають енергію тим, що заряджаються. У цьому випадку мережа компенсує надлишковий попит. Отже, G2V, V2G, V2V і V2X були явно можливими. Було показано, що фотоелектрична енергія спочатку зберігається в зарядних EV, а надлишковий попит компенсується мережею.

ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ

Фотоелектрична енергія спочатку інтелектуально зберігається в електромобілів. В рамках роботи, було показано, що електромобілі, які заряджаються під час виробництва фотоелектричної енергії, є кращим варіантом зберігання більшої кількості фотоелектричної енергії в електромобілів. Ця робота довела, що електромобілі можуть заряджати один одного, підтримувати мережу в разі пікового попиту та забезпечувати електроенергією інші транспортні засоби, такі як *emv* та електромобілі. Зокрема, електромобілі в системі управління електроенергією: покращують виробництво екологічно чистої електроенергії, сприяють екологічному транспорту, сприяючи нульовому споживанню та зниженню навантаження на мережу через постійне зростання попиту. Повна топологія була побудована в *simulink* для полегшення моделювання, перевірки концепції та розуміння. У цій роботі було показано всі елементи керування потоком електроенергії. Однак ця робота ігнорувала введення реактивної потужності, регулювання та компенсацію під час перетворення змінного струму в постійний струм і навпаки, а також вплив дисбалансу потужності та навантаження, а також вплив опору та індуктивності відгалужень. Всі ці пункти повинні бути включені в подальшу роботу.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Конституція України: Конституція України; Верховна Рада України від 28.06.1996 № 254к/96-ВР // База даних «Законодавство України» / 45 Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80>.
2. Омельченко Володимир. Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни. Центр Разумкова. 2022. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pidchas-ta-pislya-viyny>.
3. Про Концепцію діяльності органів виконавчої влади у забезпеченні енергетичної безпеки України : Постанова Кабінету Міністрів України від 19.01.1998 № 48 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/48-98-%D0%BF/>
4. Про нафту і газ : Закон України від 12.07.2001 № 2665-III URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2665-14>.
5. Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України; План, Заходи від 12.2021 № 1803-р // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1803-2021-%D1%80>.
6. Про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг : Закон України від 22.09.2016 № 1540-VIII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1540-19>.
7. Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2019-19>.
8. Про схвалення Концепції впровадження “розумних мереж” в Україні до 2035 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України; Концепція, План, Заходи від 14.10.2022 № 908-р // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/908-2022-%D1%80>.

9. Про схвалення Плану розвитку системи передачі на 2021-2030 роки: Постанова; Нацком.енергетики, ком.послуг від 20.01.2021 № 57 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0057874-21>.
10. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття [За заг. ред. А.К. Шидловського, М.П. Ковалка]. – К.: УЕЗ, – 2001. – 398 с.
11. Ürge-Vorsatz, D.; Khosla, R.; Bernhardt, R.; Chan, Y.C.; Vérez, D.; Hu, S.; Cabeza, L.F. Advances toward a net-zero global building sector. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 2020, 45, 227–269. [Google Scholar] [CrossRef]
12. Vella, H. Ten Steps to net zero: As the goal to reach net zero in the UK rapidly approaches, we examine Boris Johnson’s 10-point plan for a green industrial revolution. *Eng. Technol.* 2021, 16, 20–25. [Google Scholar] [CrossRef]
13. Abdou, N.; El Mghouchi, Y.; Hamdaoui, S.; Mhamed, M. Optimal Building Envelope Design and Renewable Energy Systems Size for Net-zero Energy Building in Tetouan (Morocco). In *Proceedings of the 2021 9th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, Virtual, 23–27 November 2021; pp. 1–6. [Google Scholar]
14. Kaloti, S.; Kamal, F.; Al Mamun, A.; Chowdhury, B. Is Achieving Net-Zero Carbon Emissions Possible for Electric Utilities with Current Technology? In *Proceedings of the 2021 North American Power Symposium (NAPS)*, College Station, TX, USA, 14–16 November 2021; pp. 1–6. [Google Scholar]
15. Arita, M.; Nakamura, Y.; Ishida, S.; Arakawa, Y. ZEL: Net-Zero-Energy Lifelogging System using Heterogeneous Energy Harvesters. In *Proceedings of the 2022 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, Pisa, Italy, 21–25 March 2022; pp. 172–179. [Google Scholar]
16. Lowe, C.; Stanley, J.; Alosaimi, F.; Yousf, M.; Bordelon, J.; Karayaka, H.B. Load Following Capability for Hybrid Nuclear and Solar Photovoltaic Power Plants with an Energy Storage System. In *Proceedings of the 2020 52nd North*

- American Power Symposium (NAPS), Tempe, AZ, USA, 11–13 April 2021; pp. 1–6. [Google Scholar]
17. Saw, S.K.; Navada, H.G.; Shubhanga, K.N. Power Flow Analysis of Power Distribution System Integrated with Solar Photovoltaic Based Distributed Generation. In Proceedings of the 2022 International Conference on Intelligent Controller and Computing for Smart Power (ICICCSP), Hyderabad, India, 21–23 July 2022; pp. 1–6. [Google Scholar]
 18. Boutasseta, N.; Bouakkaz, M.S.; Attoui, I.; Fergani, N.; Bouraiou, A.; Necaibia, A. Implementation of MPPT Methods for improving the Performance of Photovoltaic Systems. In Proceedings of the 2021 International Conference on Recent Advances in Mathematics and Informatics (ICRAMI), Tebessa, Algeria, 21–22 September 2021; pp. 1–4. [Google Scholar]
 19. Lian, H.; Hu, S.; Meng, Y. Research on Supporting Control Technology of Wind driven generator Auxiliary Power Grid Based on Energy Storage DC Access. In Proceedings of the 2021 International Conference on Advanced Electrical Equipment and Reliable Operation (AEERO), Beijing, China, 15–17 October 2021; pp. 1–4. [Google Scholar]
 20. Khatibi, M. Investigating the Impact of Wind Farms Energy Yields on Reduction of Power Plants Natural Gas Consumptions and CO₂ Emissions: A Practical Case Study in Iran. In Proceedings of the 7th Iran Wind Energy Conference (IWEC2021), Shahrood, Iran, 17–18 May 2021; pp. 1–4. [Google Scholar]
 21. Malik, M.Z.; Baloch, M.H.; Ali, B.; Khahro, S.H.; Soomro, A.M.; Abbas, G.; Zhang, S. Power Supply to Local Communities Through Wind Energy Integration: An Opportunity Through China-Pakistan Economic Corridor (CPEC). *IEEE Access* 2021, 9, 66751–66768. [Google Scholar] [CrossRef]
 22. Abomazid, A.M.; El-Taweel, N.A.; Farag, H.E. Optimal energy management of hydrogen energy facility using integrated battery energy storage and solar photovoltaic systems. *IEEE Trans. Sustain. Energy* 2022, 13, 1457–1468. [Google Scholar] [CrossRef]

23. Stoyanov, L. Modeling of Hybrid System with Photovoltaic Panels-Fuel cells Generation and Hydrogen Storage Using Electrolyzer. In Proceedings of the 2021 17th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), Sofia, Bulgaria, 1–4 July 2021; pp. 1–4. [Google Scholar]
24. Li, Z.; Zhang, W.; Zhang, R.; Sun, H. Development of renewable energy multi-energy complementary hydrogen energy system (A Case Study in China): A review. *Energy Explor. Exploit.* 2020, 38, 2099–2127. [Google Scholar] [CrossRef]
25. Salman, A.A.; Soon, C.F.; Salem, A.A.; Al-Sharai, A.A. Modelling Of Grid Connected Photovoltaic System. In Proceedings of the 2021 IEEE 19th Student Conference on Research and Development (SCOREd), Online, 23–25 November 2021; pp. 42–46. [Google Scholar]
26. Chen, T.; Jin, Y.; Lv, H.; Yang, A.; Liu, M.; Chen, B.; Xie, Y.; Chen, Q. Applications of lithium-ion batteries in grid-scale energy storage systems. *Trans. Tianjin Univ.* 2020, 26, 208–217. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]
27. Heilmann, C.; Friedl, G. Factors influencing the economic success of grid-to-vehicle and vehicle-to-grid applications—A review and meta-analysis. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2021, 145, 111115. [Google Scholar] [CrossRef]
28. Pinto, J.G.; Monteiro, V.; Gonçalves, H.; Exposto, B.; Pedrosa, D.; Couto, C.; Afonso, J.L. Bidirectional battery charger with grid-to-vehicle, vehicle-to-grid and vehicle-to-home technologies. In Proceedings of the IECON 2013—39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Vienna, Austria, 10–13 November 2013; pp. 5934–5939. [Google Scholar]
29. Liu, C.; Chau, K.T.; Wu, D.; Gao, S. Opportunities and challenges of vehicle-to-home, vehicle-to-vehicle, and vehicle-to-grid technologies. *Proc. IEEE* 2013, 101, 2409–2427. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]
30. Das, S.; Acharjee, P.; Bhattacharya, A. Charging scheduling of electric vehicle incorporating grid-to-vehicle and vehicle-to-grid technology considering in smart grid. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2020, 57, 1688–1702. [Google Scholar] [CrossRef]

31. Evode, R. Modeling of Electric Grid Behaviors having Electric Vehicle charging stations with G2V and V2G Possibilities. In Proceedings of the 2021 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME), Mauritius, 7–8 October 2021; pp. 1–5. [Google Scholar]
32. Tostado-Véliz, M.; Kamel, S.; Hasanien, H.M.; Arévalo, P.; Turkey, R.A.; Jurado, F. A stochastic-interval model for optimal scheduling of PV-assisted multi-mode charging stations. *Energy* 2022, 253, 124219. [Google Scholar] [CrossRef]
33. Goel, S.; Sharma, R.; Rathore, A.K. A review on barrier and challenges of electric vehicle in India and vehicle to grid optimisation. *Transp. Eng.* 2021, 4, 100057. [Google Scholar] [CrossRef]
34. Engel, B.; Di Modica, G.L.; Gartner, J.; Pronobis, O.; Wussow, J. Technology and Challenges with Fleet Grid Integration. In *Electric Vehicles in Shared Fleets: Mobility Management, Business Models, and Decision Support Systems*; World Scientific: Singapore, 2022; pp. 31–50. [Google Scholar]
35. Cui, S.; Liu, X.; Tian, D.; Zhang, Q.; Song, L. The construction and simulation of V2G system in micro-grid. In Proceedings of the 2011 International Conference on Electrical Machines and Systems, Beijing, China, 20–23 August 2011; pp. 1–4. [Google Scholar]
36. Sahoo, B.; Routray, S.K.; Rout, P.K. AC, DC, and hybrid control strategies for smart microgrid application: A review. *Int. Trans. Electr. Energy Syst.* 2020, 31, e12683. [Google Scholar] [CrossRef]
37. Uko, C.; Egbue, O.; Naidu, D.S. Economic Dispatch of a Smart Grid with Vehicle-to-Grid Integration. In Proceedings of the 2020 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech), Oklahoma City, OK, USA, 1–3 April 2020; pp. 148–152. [Google Scholar]
38. Kuruvilla, V.; Kumar, P.V.; Selvakumar, A.I. Challenges And Impacts of V2g Integration—A Review. In Proceedings of the 2022 8th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), Coimbatore, India, 25–26 March 2022; pp. 1938–1942. [Google Scholar] [CrossRef]

39. Bimenyimana, S.; Asemota, G.N.; Li, L. The state of the power sector in Rwanda: A progressive sector with ambitious targets. *Front. Energy Res.* 2018, 6, 68. [Google Scholar] [CrossRef]
40. Gohari, H.S.; Abbaszadeh, K. A novel controllable bidirectional switching-capacitor based Buck-Boost charger for EVs. In *Proceedings of the 2020 11th Power Electronics, Drive Systems, and Technologies Conference (PEDSTC)*, Tehran, Iran, 4–6 February 2020; pp. 1–6. [Google Scholar]
41. Shakeel, F.M.; Malik, O.P. Vehicle-To-Grid Technology in a Micro-grid Using DC Fast Charging Architecture. In *Proceedings of the 2019 IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, Edmonton, AB, Canada, 5–8 May 2019; pp. 1–4. [Google Scholar]
42. Balakhontsev, A.; Beshta, O.; Boroday, V.; Khudolii, S.; Pirienko, S. A Review of Topologies of Quick Charging Stations for Electric Vehicles. In *Proceedings of the 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, 21–24 September 2021; pp. 1–4. [Google Scholar]
43. Thanakam, T.; Kumsuwan, Y. A Novel On-Board Battery Charger Configuration Based on Nine-Switch Converter fed Open-End Winding AC Motor Drive for Plug-In Electric Vehicles. In *Proceedings of the 2021 24th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, Gyeongju, Korea, 31 October–3 November 2021; pp. 988–991. [Google Scholar]
44. Hwang, S.H.; Chen, Y.; Zhang, H.; Lee, K.Y.; Kim, D.H. Reconfigurable Hybrid Resonant Topology for Constant Current/Voltage Wireless Power Transfer of Electric Vehicles. *Electronics* 2020, 9, 1323. [Google Scholar] [CrossRef]
45. Eidiani, M.; Ghavami, A. New network design for simultaneous use of electric vehicles, photovoltaic generators, wind farms and energy storage. In *Proceedings of the 2022 9th Iranian Conference on Renewable Energy & Distributed Generation (ICREDG)*, Mashhad, Iran, 23–24 February 2022; pp. 1–5. [Google Scholar]