

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: РОЗРОБКА ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЗАРЯДНОЇ
СТАНЦІЇ ДЛЯ ЛЕГКОВИХ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Виконав студент 2 курсу, групи ЕТм-62
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Войтович І.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Лупенко А.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Левицький В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка має 78 сторінок, 8 аркушів формату А1, 9 ілюстрацій, 29 таблиць та 18 використаних першоджерел.

Об'єкт дослідження – процес заряджання електромобілів від автономної фотоелектричної станції.

Предмет дослідження – фотоелектрична зарядна станція .

Метою кваліфікаційної роботи є: розробка та імітаційне моделювання автономної фотоелектричної зарядної станції для електромобілів

У роботі розглянуто публікації авторів за темою кваліфікаційної роботи та проведено огляд та сучасний стан фотоелектричної інфраструктури для зарядки електромобілів. Запропоновано конструкцію автономної зарядної станції, яка розрахована на одночасну зарядку 5 електромобілів. Підвищувальний перетворювач постійного струму підключає фотоелектричну систему до шини постійного струму 400 В. Ізольований двонаправлений DC-DC перетворювач з активним і пасивним снаббером забезпечує передачу енергії між фотоелектричною системою і акумулятором автомобіля. Проведено імітаційне моделювання вхідної та вихідної потужності MPPT-контролера та його ефективність, час заряджання, а також характеристики рівнів напруги та струму для 5 моделей електромобілів. Результати показали, що час заряджання для п'яти типів електромобілів є близьким до часу згідно з технічними характеристиками даних електромобілів.

Ключові слова: ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ПАНЕЛІ, ЗАРЯДНА СТАНЦІЯ, КОНТРОЛЛЕР, ЕЛЕКТРОМОБІЛІ

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Огляд досліджень за темою роботи	9
1.2 DC автономна фотоелектрична система.....	11
1.3 Огляд та сучасний стан фотоелектричної інфраструктури для зарядки електромобілів.....	11
1.3.1 Загальна структура.....	11
1.3.2 Існуючі фотоелектричні інфраструктури для зарядки електромобілів	14
1.4 Висновки до розділу	20
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	22
2.1 Аналіз потужності та енергії системи.....	22
2.2 Фотоелектрична панель з підвищувальним перетворювачем.....	24
2.3 Перетворювач накопичувача енергії.....	25
2.4 Зарядний пристрій для електромобілів.....	26
2.5 Проект фотоелектричної зарядної станції	26
2.6 Фотоелектричні панелі	28
2.7 DC-DC перетворювач	30
2.7.1 Робота DC-DC перетворювача.....	31
2.7.2 Конструкція DC-DC перетворювача	32
2.8 Літій-іонний акумулятор	32
2.9 Відстеження точки максимальної потужності	34
2.10 Висновки до розділу	36
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	37
3.1 Вхідні дані для моделювання.....	37

3.2 Результати моделювання ефективності МРРТ	
контролера.....	39
3.3 Результати моделювання часу зарядки.....	48
3.4 Результати моделювання рівнів напруги та струму	51
3.5 Висновки до розділу	53
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ	
СИТУАЦІЯХ.....	55
4.1 Причини електротравм, напруга кроку.....	55
4.2 Фізичні основи електробезпеки.....	56
4.3 Підвищення стійкості роботи об'єктів енергетики у	
воєнний час	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	69

ВСТУП

Актуальність теми.

За даними Світового банку, традиційні джерела енергії використовують 2,4 мільярда людей, тоді як 1,6 мільярда людей не мають доступу до електроенергії. Очікується, що попит на електроенергію в країнах, що розвиваються, зростатиме на 4,6 відсотка на рік.. Сонячне випромінювання коливається від 2 до 6,5 кВт·год/м² щодня. Сонячна фотоелектрична (PV) технологія є перспективним новим способом виробництва електроенергії. Таким чином, без використання будь-яких інноваційних технологій будь-яка країна може бути електрифікована за допомогою системи фотоелектричних мереж, що використовує безмежну та екологічно чисту сонячну енергію. Масштабне використання сонячної енергії для виробництва електроенергії компенсує дефіцит електроенергії та зменшить викиди CO₂.

Транспортний сектор України створює значні викиди парникових газів. Згідно з даними, опублікованими Міжнародним енергетичним агентством, на транспортні засоби припадає приблизно 23% усіх викидів парникових газів у світі [7]. Крім того, енергетика та сільське господарство прискорюють викиди CO₂. Швидке збільшення кількості транспортних засобів, необхідних для обслуговування великої кількості населення країни, є тривожним симптомом забруднення та споживання палива. Крім того, використання електромобілів (ЕМ) зростає з кожним днем. Ці електромобілі викидають менше забруднюючих речовин і не мають шкідливих викидів. Однак зростання кількості електромобілів потребує більше генерації електроенергії щодня в електромережу України.

Зараз електромобілі в основному заряджаються в житлових районах і оплачують рахунки за електроенергію для населення, а не для бізнесу. За таких обставин зарядка цих електромобілів не приносить жодного прибутку для енергетичного сектору. Більше того, ці електромобілі створюють велике навантаження на електромережу.

Ефективність електромережі визначається багатьма параметрами, включаючи доступність електроенергії, навантаження, ємність акумулятора, вартість заряджання та час заряджання. Оптимізація вартості заряду в цьому дослідженні здійснюється з використанням нечіткої логіки при оптимізації використання відновлюваних ресурсів. Використовуючи нечітку логіку «якщо-тоді», буде створено алгоритм управління енергоспоживанням. Хоча оптимізація електромережі на основі гібридних відновлюваних джерел енергії є новою, було проведено кілька досліджень з використанням нечіткої логіки. В Україні власники електромобілів встановлюють дво- або три-тарифні лічильники, тому ціна на електроенергію змінюється залежно від того, чи використовується вона в пікові або непікові години. Як наслідок, час заряджання, ємність акумулятора, енергоспоживання та доступність електроенергії є входами нечіткої системи, а вартість заряджання - єдиним результатом. Така оптимізація дозволить зменшити витрати на зарядку, а також забезпечить ефективне використання електроенергії.

Сонячні панелі поділяються на дві категорії. Різниця між ними полягає в тому, що одні є монокристалічними, а інші - полікристалічними. Монокристалічні, з іншого боку, мають вищий коефіцієнт корисної дії в межах 18-22 відсотків, що означає, що вони генерують більше електроенергії з квадратного метру, але полікристалічні дешевші. Вони можуть виробляти 220 вольт без необхідності зовнішнього джерела живлення, якщо на них потрапляє сонячне світло. Ця процедура здійснюється за допомогою гібридних монокристалічних панелей класу «А», які мають 21-відсотковий коефіцієнт корисної дії та площу 1,67225 м².

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є: розробка та імітаційне моделювання автономної фотоелектричної зарядної станції для електромобілів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати публікації за темою кваліфікаційної роботи.

2. Проаналізувати конструкції фотоелектричних установок для зарядки електромобілів.
3. Запропоновано конструкцію автономної зарядної станції.
4. Провести імітаційне моделювання вхідної та вихідної потужності MPPT-контролера та його ефективність і час заряджання для 5 моделей електромобілів.

Об’єкт дослідження – процес заряджання електромобілів від автономної фотоелектричної станції.

Предмет дослідження – фотоелектрична зарядна станція.

Наукова новизна отриманих результатів.

Набула подальшого розвитку імітаційна модель автономної фотоелектричної зарядної станції.

Практичне значення отриманих результатів.

Запропоновано конструкцію автономної зарядної станції, яка розрахована на одночасну зарядку 5 електромобілів, яка складається з двох фотоелектричних полів потужністю 50 кВт кожне, є основним джерелом енергії для автономної системи постійного струму, що забезпечує загальну потужність 100 кВт.

Апробація. Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на XIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 11–12 груд. 2024 року. ТНТУ [1]

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (28 найменувань). Загальний обсяг текстової частини – 88 сторінок, 9 таблиць, 6 рисунок.

Робота оформлена відповідно до методичних рекомендацій [2].

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Огляд досліджень за темою роботи

Сьогодні зростання споживання енергії та зміна клімату спричинені викидами CO₂. Електромобілі, які повністю забезпечуються електроенергією, мають потенціал для заміни бензинових і дизельних автомобілів. Крім того, відновлювана енергія повинна використовуватися для постачання електроенергії, щоб задовольнити зростаючий попит у майбутньому та зменшувати постачання електроенергії з генеруючих потужностей [3-6]. Сонячна енергія є одним з важливих джерел [7-11]. Фотоелектричні системи постачаються для заряджання електромобілів, що є одним із застосувань сталої енергетики [12,13].

Більшість літературних статей зосереджені на двох напрямках, перший тренд - заряджання електромобілів мережевою сонячною енергією, а другий тренд - заряджання електромобілів позамережевою сонячною енергією. Автори [14] продемонстрували мережеву зарядну станцію для електромобілів на основі сонячних фотоелектричних перетворювачів з резервним акумулятором, а також великий коефіцієнт підсилення, швидкий зарядний DC-DC перетворювач та схему керування за допомогою програмного забезпечення MATLAB. Інші автори розробили та оцінили системну архітектуру та структуру управління, яка мінімізує вплив станцій швидкої зарядки постійного струму для електромобілів на мережу змінного струму за допомогою програмного забезпечення PLECS. Автори [15] представили кілька різних архітектур зарядних станцій, які вони порівняли та оцінили на основі електромережі, модульності та інших характеристик. Інші автори поглиблено дослідили впровадження PV-EV зарядних систем. Наведено кілька підходів для отримання інформації про схеми заряджання, геолокацію зарядного обладнання та режими роботи, серед іншого. Враховуючи початковий стан заряду, способи подачі, час прибуття, час від'їзду та максимальний час, автори пропонують

алгоритми пошуку піків та долин, щоб знайти ідеальний час початку заряджання або розряджання для електромобілів. Деякі з авторів запропонували, що тестові форми хвиль і виміряна ефективність зразка потужністю 10 кВт були успішно перевірені. Перетворювач може функціонувати як фотоелектричний інвертор, зарядний пристрій для електромобілів, що працює в обох напрямках, або як гібрид цих двох пристроїв з використанням фотоелектричного емулятора. Також в літературі представлені дослідження зі створення та тестування евристичної методики розробки для визначення відповідного дизайну гібридної системи PV-дизель-акумулятор, використовуючи космічні лоти V2G як контрольоване навантаження

Багато досліджень присвячено аналізу та інтеграції фотоелектричних мережевих систем, які забезпечують швидку зарядку електромобілів [14,15]. У 2019 році [16] було проілюстровано інтеграцію фотоелектричної мережевої системи, яка живить зарядку змінного струму (низька зарядка) для електромобілів. Нещодавно група дослідників зосередила увагу на можливості отримання вигоди від батарей електромобілів шляхом подачі енергії батареї в мережу в критичні моменти, які потрібні споживачеві або електромережі [16,17]. В автономних системах дослідники зосереджуються на розробці фотоелектричних систем для заряджання електромобілів у режимі швидкого заряджання за допомогою акумуляторних батарей. Крім того, в іншому дослідженні була розроблена позамережева фотоелектрична система для забезпечення змінним струмом (низька зарядка) електромобілів, які не мають акумуляторної батареї [18]. Деякі дослідники вивчали аналіз та інтеграцію мережевих систем вітрових турбін, які живлять електромобілі. Нарешті, два дослідження використовували моделювання в MATLAB для вивчення концепції проектування автономної фотоелектричної системи без акумуляторної батареї з використанням підвищувального перетворювача із застосуванням технології MPPT для досягнення максимальної потужності фотоелектричної системи [19].

Як наслідок, з'явилося багато досліджень, присвячених мережевим фотоелектричним системам. Основним недоліком мережових фотоелектричних систем є те, що коли мережа виходить з ладу, фотоелектрична система вимикається. Щоб вирішити цю проблему, вона може бути використана з гібридною системою зі сховищем енергії, що додає багато додаткових витрат. Крім того, багато досліджень позамережових класифікацій отримали формування сонячної системи з системою зберігання енергії, що свідчить про високу ціну, особливо для швидкої зарядки, яка вимагає високоенергетичного методу зберігання, що є дуже дорогим.

1.2 DC автономна фотоелектрична система

Автономна система постійного струму, що живиться від фотоелектричної системи, використовує схеми керування «падіння» та «ведучий-ведений», які координують роботу фотоелектричних модулів, електромобілів та електростанцій (ESU). Крім того, використовується система зберігання електроенергії, яка забезпечує безперервне постачання електроенергії з автономної мережі. Коли потужність фотоелектричних модулів обмежена, система зберігання енергії вмикається, щоб заповнити прогалину. З іншого боку, коли кількість згенерованої сонячної енергії перевищує кількість, необхідну для автономної роботи, акумулятор використовується для зберігання додаткової енергії [20]. На рисунку 1.1 показано огляд архітектури автономної зарядної станції для автомобілів на основі фотоелектричних модулів.

1.3 Огляд та сучасний стан фотоелектричної інфраструктури для зарядки електромобілів

1.3.1 Загальна структура

Сьогодні всі країни стикаються з викликами і проблемами, пов'язаними з виробництвом енергії, попитом, експлуатацією, управлінням, а також

транспорт. Транспорт є основною причиною забруднення повітря в містах і відповідає за 56% викидів парникових газів в Європі. Більшість енергії, що виробляється у світі, все ще надходить з викопних видів палива. Певні сектори діяльності, такі як автомобільна промисловість, звернули увагу на цю проблему і тепер пропонують стійку альтернативу двигунам внутрішнього згорання у вигляді електродвигуна. Завдяки міжнародним зусиллям та національній політиці стимулювання, продажі електромобілів зростають, збільшившись на 43% у порівнянні з 2019 роком, а кількість електромобілів перевищила 10 мільйонів у всьому світі у 2020 році.

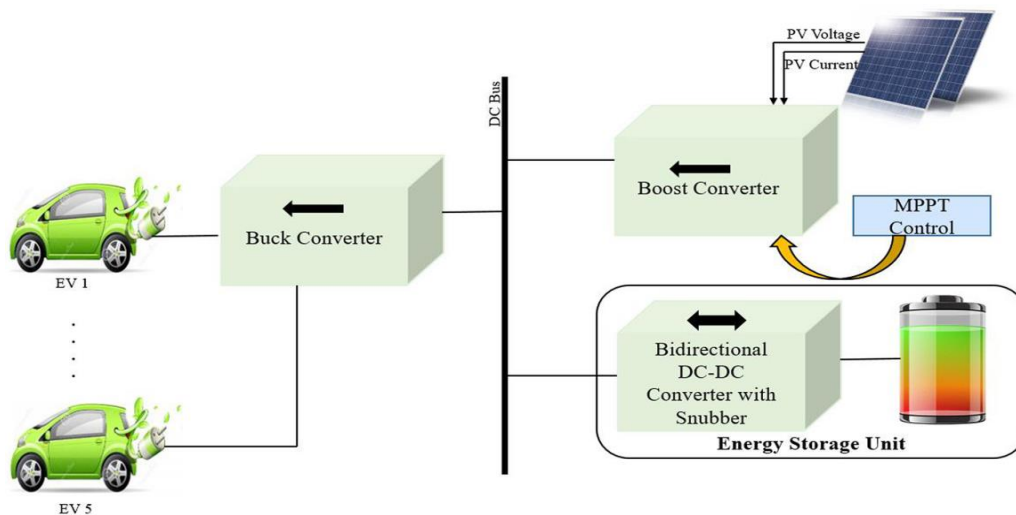


Рисунок 1.1 - Архітектура автономної зарядної станції для автомобілів

Вибух на ринку електромобілів призводить до збільшення кількості зарядних станцій, яка, за оцінками, становила приблизно 7,3 мільйона по всьому світу на кінець 2019 року (на 38% більше, ніж у попередньому році). Більша частина цього зростання припадає на нові приватні повільні зарядні пункти, на які припадає понад 86% з 2 мільйонів нових установок минулого року [21]. Зарядка акумуляторів електромобілів від зеленої енергії збільшує екологічні переваги електромобілів, тому використання фотоелектричної енергії для підзарядки електромобілів викликає великий інтерес. Оскільки електроенергія, вироблена фотоелектричними системами, має низький рівень викидів парникових газів протягом свого життєвого циклу, зарядка

електромобілів за допомогою фотоелектричної енергії в денний час, коли виробництво електроенергії є найвищим, доповнює переваги низьких викидів парникових газів на дорозі.

Фотоелектричні установки для зарядки електромобілів можуть бути «навісами для паркування», де фотоелектричні панелі встановлюються на спеціальних навісах, або ж на дахах будівель. Зарядні станції на сонячних батареях можуть працювати в режимі підключення до електромережі або в автономному режимі. Вони зазвичай складаються з наступних компонентів:

Фотоелектричні модулі - основне джерело станції, що виробляє відновлювану електроенергію. Зазвичай обирають фіксовані масиви з кремнієвими фотомодулями, оскільки вони пропонують найкращий компроміс між вартістю та ефективністю [22-25]. У деяких пілотних проектах використовуються системи стеження або концентраторні фотоелектричні системи.

Система балансування потужності системи:

- Силова електроніка - застосовуються або DC-DC (постійний струм - постійний струм), включаючи відстеження точки максимальної потужності (MPPT), або DC-AC (постійний струм - змінний струм).

- Система зберігання енергії - ця система може бути використана для подолання невідповідності між часом, коли енергія виробляється, і часом, коли вона використовується [26-29]. Більшість зарядних систем покладаються на акумулятори для зберігання енергії. Найчастіше для цього обирають літій-іонні технології, але в принципі можна використовувати і свинцево-кислотні акумулятори.

- Система управління енергоспоживанням - ця система може використовувати різні алгоритми для моніторингу та управління потоками електроенергії фотоелектричної зарядної станції (особливо якщо станція має накопичувач енергії) для досягнення певної мети, наприклад, забезпечення постійної повної зарядки електромобіля або мінімізації експлуатаційних витрат

системи. Інше обладнання - електропроводка, вимикачі та монтажні конструкції для фотоелектричного масиву.

- Обладнання для живлення електромобіля - це компоненти, необхідні для підключення електромобіля до зарядної станції, такі як штекер, кабель живлення, зарядна підставка і захисні компоненти, а також користувацький інтерфейс зарядної станції.

1.3.2 Існуючі фотоелектричні інфраструктури для зарядки електромобілів

Цей розділ містить огляд існуючих інфраструктур для заряджання електромобілів на основі фотоелектричних станцій. У ньому розглядаються нещодавні установки в різних країнах. Ці міждисциплінарні проекти демонструють різні типи зарядних рішень, які тестуються в реальних умовах експлуатації.

EV ARC™ 2020, Beam Global

Beam Global співпрацює з містом Сан-Дієго (США), щоб забезпечити безкоштовну громадську зарядку електромобілів за допомогою першого зарядного пристрою EV ARC™ 2020 під брендом Beam.

Як показано на рис. 1.2, EV ARC™ пропонує автономну, транспортабельну зарядну інфраструктуру, що працює повністю на фотоелектричній енергії, для задоволення потреб підприємств, державних установ та муніципалітетів у зарядці електромобілів [30]. На відміну від зарядних інфраструктур, підключених до електромережі, пристрої EV ARC™ можуть бути розгорнуті або переміщені за лічені хвилини без необхідності будівництва або модернізації електромережі. Ця технологія також підвищує енергетичну безпеку та готовність користувачів до надзвичайних ситуацій.



Рисунок 1.2 - Зарядний пристрій для електромобілів EV ARC™ 2020

Зарядні станції EV ARC™ оснащені вбудованим накопичувачем енергії ARC Technology™ ємністю до 40 кВт*год, що дозволяє їм працювати вночі та в погану погоду. Вони можуть заряджати до шести електромобілів одночасно. Блоки EV ARC™ витримують вітер до 193 км/год та затоплення до 2,74 м і можуть продовжувати працювати у разі відключення або перебоїв в електропостачанні.

Враховуючи, що ця інфраструктура розташована на півночі Франції, де середньорічне сонячне випромінювання становить 1309,36 кВт-год/м², зарядна станція EV ARC™ може забезпечити приблизно 4216 кВт-год/рік. Влітку, за найкращих умов сонячного випромінювання, ця установка може забезпечити приблизно 23,5 кВт-год/день. Таким чином, при споживанні 15 кВт-год/100 км, щоденне виробництво електроенергії може забезпечити електромобілю пробіг до 157 км. Більше того, з урахуванням стаціонарного сховища, зарядна інфраструктура EV ARC™ може забезпечити електромобіль на відстань до 400 км. Однак виникає питання підзарядки стаціонарного сховища, тому щоденні підзарядки на 400 км, навіть за найкращих умов сонячного випромінювання, не є можливими.

MDT-TEX Solar Carport

У Німеччині компанія MDT-TEX розгорнула свою розумну фотоелектричну навіс для паркування автомобілів Solar Carport [31] у 2018 році. Solar Carport доступний у двох різних форматах, з симетричною або асиметричною щоглою. Обидва формати мають проліт 5,3 м, що забезпечує досить велику кількість затінення, а 15 фотоелектричних панелей на його поверхні генерують достатню кількість енергії (рис. 1.3). Квадратна конструкція 5,3 x 5,3 м з центральною щоглою може слугувати місцем для паркування двох автомобілів. Враховуючи модульну конструкцію, кілька конструкцій можна розмістити поруч у лінійній або груповій конфігурації.



Рисунок 1.3 - Сонячний навіс MDT-TEX для зарядки електромобілів

Цей розумний навіс для паркування автомобілів підключається до електромережі і може бути оснащений зарядними пристроями для електровелосипедів або електромобілів. Ця модель може використовуватися, наприклад, в торгових центрах, на автомагістралях, в супермаркетах або на громадських парковках.

Сонячний навіс може бути встановлений з 15 фотоелектричними панелями загальною потужністю 4,05 кВт. Залежно від місцевої інфраструктури або конкретного рішення, Solar Carport може включати в себе систему

зберігання акумуляторів для підвищення стійкості та використання фотоелектричної енергії для зарядки електромобілів. Повністю обладнаний Solar Carport має встановлену ємність зберігання 4,5 кВт-год. Зарядка електромобілів здійснюється через зарядний термінал постійного струму потужністю 22 кВт. Згідно з технічними характеристиками, інфраструктура залишається залежною від електромережі, тобто додаткова потужність, необхідна для досягнення потужності зарядки 22 кВт, береться з електромережі.

Щогла також обладнана дренажними трубами, які пропускають дощову воду через систему фільтрації та зберігають її в критому резервуарі для води (додаткова «зелена» перевага).

Tesla: Зарядний пристрій V3 з фотоелектричною установкою та акумулятором

У Лас-Вегасі, штат Невада, у 2019 році виробник Tesla встановив свої нові «V3 Superchargers» із зарядною потужністю 250 кВт [32]. На зарядній інфраструктурі встановлена фотоелектрична система (рис. 1.4), що складається з 288 панелей, безпосередньо підключених до електромережі. Акумулятори «Powerpack» на 210 кВт-год також присутні, але вони заряджаються від електромережі. Оскільки 288 фотоелектричних панелей недостатньо для живлення цього нагнітача V3, електромережа є основним джерелом живлення.

Проект затінення автостоянки, агломерація Екс-Марсель-Прованс, Франція

Компанія IRISOLARIS впроваджує свої рішення на основі змішаної енергії PLEXSUN® в рамках реконструкції залізничного вокзалу Гарданн, що включає в себе захищені паркувальні зони з безкоштовними зарядними станціями для електромобілів (Рис. 1.5). Роботи розпочалися в лютому 2020 року .



Рисунок 1.4 - Зарядний пристрій Tesla V3 з фотоелектричними панелями та акумулятором



Рисунок 1.5 - Інфраструктура, що працює на фотоелектричних батареях, на станції Гарданн

Цей проект, реалізований агломерацією Екс-Марсель-Прованс у співпраці з архітектурним бюро Battesti та делегованою компанією з управління проектами SPLA Pays d'Aix Territoires, має дві мети: зменшити приміський дорожній рух шляхом створення захищених зон паркування та дозволити користувачам безкоштовно заряджати свої електромобілі. Це заохочує

використання громадського транспорту в інтересах навколишнього середовища: Користувачі електромобілів можуть паркуватися і заряджати свої транспортні засоби, коли вони користуються громадським транспортом.

Загалом автостоянка має 352 паркувальних місця та обладнана фотоелектричними панелями загальною площею 950м². Ця підключена до мережі фотоелектрична установка потужністю 130 кВт забезпечує 16 зарядних терміналів для електромобілів та 56 знімних шафок для зарядки акумуляторів для електровелосипедів. Фотоелектрична енергія частково споживається самостійно, оскільки автостоянка забезпечує значну частину власної потреби в енергії понад ту, що необхідна для зарядки електромобілів. Частину фотоелектричної енергії можна продавати в електромережу. Система зберігання дозволяє зберігати енергію там, де вона не споживається безпосередньо, але ми не маємо детальної інформації про цю інтегровану систему зберігання.

Інфраструктура фотоелектричних станцій для зарядки електробусів у Квінсленді, Австралія

У вересні 2020 року оператор громадського транспорту Transdev оголосив, що випробує 39-місний електричний автобус у південно-східному Квінсленді, який живиться виключно від сонця (Рис. 1.6).

Transdev експлуатуватиме новий 39-місний електробус на маршрутах TransLink у районі Брісбена з 2021 року в рамках дворічного партнерства з урядом штату Квінсленд. Автобус заряджається від спеціально побудованого масиву з 11 акумуляторів Tesla Powerwall, встановлених у депо Transdev в Капалабі з ємністю зберігання 135 кВт-год. Батареї живляться від 250 фотоелектричних панелей на даху депо, які виробляють в середньому 438 кВт*год на день. Ця накопичена енергія буде використовуватися для заряджання електробуса Transdev, який побудований на шасі BYD і оснащений батареєю ємністю 348 кВт*год, що забезпечує середній запас ходу від 250 до 300 км.



Рисунок 1.6 - Електричний автобус на фотоелектричних батареях у
Квінсленді

Проект заслуговує на похвалу, але подальші вдосконалення явно бажані. Ємність батареї автобуса становить 348 кВт-год. Враховуючи, що він споживає 60% цієї ємності, тобто близько 200 кВт-год на даному маршруті, в той час як батарея Tesla Powerwal має ємність лише 135 кВт-год, автобус повинен або брати з електромережі решту 65 кВт-год, або проводити деякий час у депо Капалаба компанії Transdev протягом дня для зарядки.

1.4 Висновки до розділу

1. Проаналізовано публікації авторів за темою кваліфікаційної роботи. Більшість літературних статей зосереджені на двох напрямках, перший тренд - заряджання електромобілів мережевою сонячною енергією, а другий тренд - заряджання електромобілів позамережевою сонячною енергією.
2. Багато досліджень присвячено аналізу та інтеграції фотоелектричних мережевих систем, які забезпечують швидку зарядку електромобілів.

3. Основним недоліком мережевих фотоелектричних систем є те, що коли мережа виходить з ладу, фотоелектрична система вимикається. Щоб вирішити цю проблему, вона може бути використана з гібридною системою зі сховищем енергії, що додає багато додаткових витрат.
4. Проведено огляд та сучасний стан фотоелектричної інфраструктури для зарядки електромобілів.
5. Фотоелектричні установки для зарядки електромобілів можуть бути «навісами для паркування», де фотоелектричні панелі встановлюються на спеціальних навісах, або ж на дахах будівель. Зарядні станції на сонячних батареях можуть працювати в режимі підключення до електромережі або в автономному режимі.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз потужності та енергії системи

В процесі проектування розраховуються енергетичні та енергетичні співвідношення системи. Зокрема, робляться наступні припущення:

- початкова енергія акумуляторної батареї становить « E_t » у ват-годинах (Вт·год);
- кількість сонячної енергії « P_{PV} », що випромінюється фотоелектричною панеллю, змінюється з часом і визначається за формулою:

-

$$P_{PV} = \frac{P_{mpp}}{36} 36 - t^2 \quad (2.1)$$

де P_{mpp} - максимальна вихідна потужність фотоелектричних панелей;
 t - час у годинах.

На рисунку 2.1 початок часової осі графіка зазвичай встановлюється опівдні, коли рівень опромінення є максимальним. Припускається, що 12-годинний період сонячної енергії починається о 6:00 ранку і закінчується опівночі. Відповідно до принципу енергетичного балансу, енергоспоживання електромобіля визначається за формулою:

$$P_{EV} = P_{PV} - P_{Battery} \quad (2.2)$$

де $P_{Battery}$ - миттєвий заряд акумулятора.

Припускається, що середня потужність батареї дорівнює нулю протягом доби ($T = 24$ години).

Звідси,

$$\int_0^T P_{Battery} dt = 0 \quad (2.3)$$

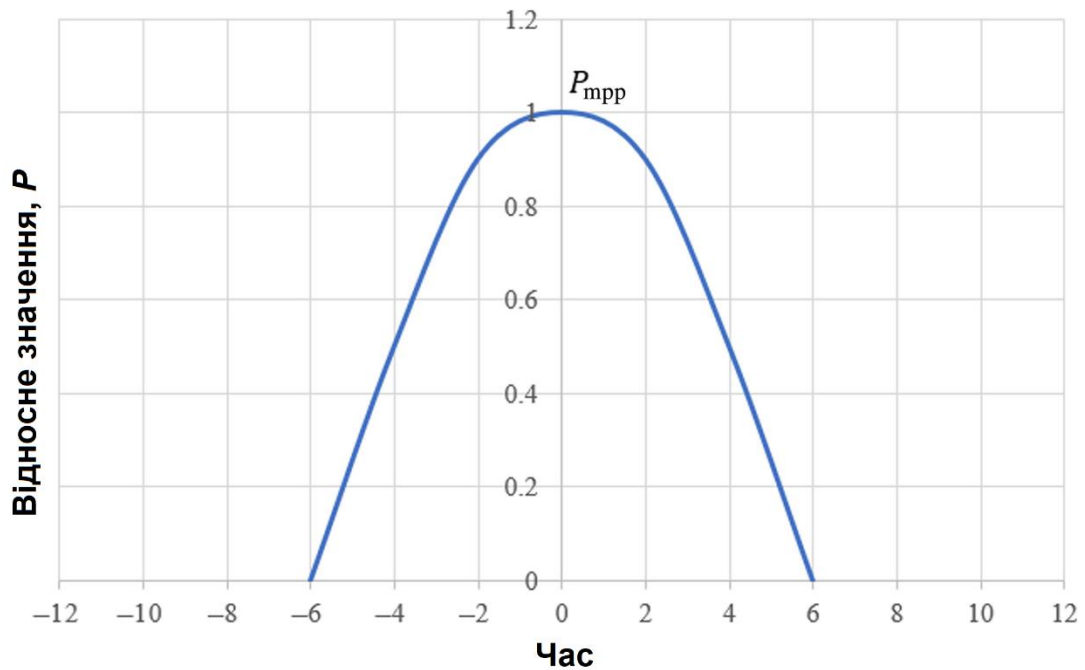


Рисунок 2.1 - Розподіл PV-енергії протягом дня

Отже,

$$\int_{-6}^6 \left[\frac{P_{mpp}}{36} (36 - t^2) - P_{EV} \right] dt - \int_6^{18} P_{EV} dt = 0 \quad (2.4)$$

$$P_{mpp} = 3P_{EV} \quad (2.5)$$

Зарядна станція розрахована на одночасну зарядку 5 електромобілів. Підвищувальний перетворювач постійного струму підключає фотоелектричну систему до шини постійного струму 400 В. Ізольований двонаправлений DC-DC перетворювач з активним і пасивним снаббером забезпечує передачу енергії між акумулятором і фотоелектричною системою. До складу накопичувача енергії входять акумуляторна батарея та ізольований двонаправлений DC-DC перетворювач з активним і пасивним снаббером, який може накопичувати і віддавати енергію, що досягається за рахунок підтримки напруги на шині постійного струму в розумному діапазоні незалежно від умов, в яких вона використовується. Фотоелектрична система, яка складається з двох фотоелектричних полів потужністю 50 кВт кожне, є основним джерелом енергії для автономної системи постійного струму, що забезпечує загальну потужність

100 кВт. Максимальна потужність фотоелектричної системи активно контролюється і передається на шину постійного струму. Накопичувач енергії зберігає/віддає енергію від фотоелектричної системи з максимальною потужністю 80 кВт. Енергоспоживання зарядної станції становить близько 24 кВт.

2.2 Фотоелектрична панель з підвищувальним перетворювачем

Зв'язок між сонячною батареєю та шиною постійного струму забезпечує трирівневий підвищувальний перетворювач. Режим відстеження точки максимальної потужності (MPPT) використовується фотоелектричним підвищувальним перетворювачем. Архітектура управління MPPT фотоелектричної системи показана на рис.2.2. Використовуючи метод інкрементної провідності, точка максимальної потужності фотоелектричної системи визначається шляхом вимірювання її струму та напруги. Напруга фотоелектричної системи відстежує оптимальну робочу напругу за допомогою системи керування фотоелектричною системою. Трирівневий підвищувальний перетворювач (рис. 2.3) складається з індуктора, двох IGBT-транзисторів з антипаралельними діодами, двох конденсаторів і двох діодів.

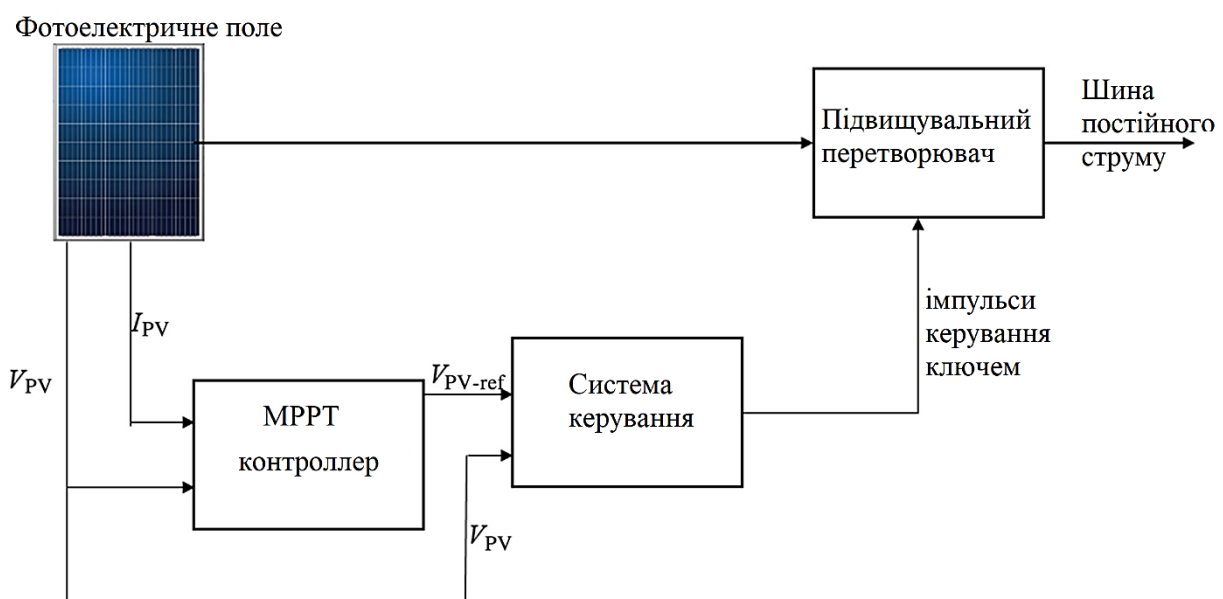


Рисунок 2.2 - Блок-схема керування фотоелектричною системою

Такий перетворювач забезпечує вищу ефективність і подвійний приріст напруги порівняно зі звичайним підвищувальним перетворювачем.

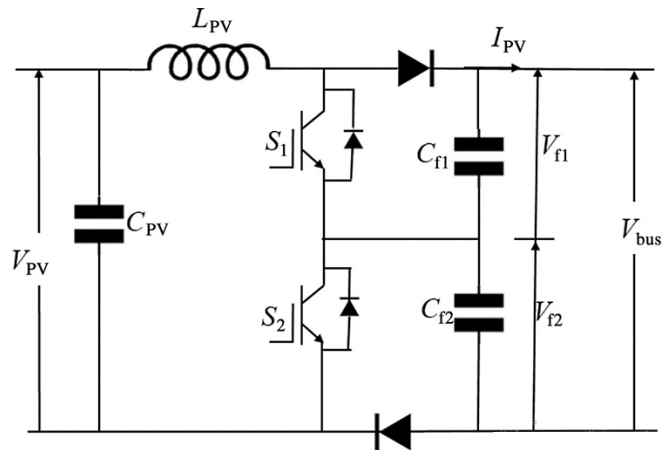


Рисунок 2.3 - Фотоелектричний перетворювач

2.3 Перетворювач накопичувача енергії

Накопичувач енергії складається з акумулятора та ізольованого двонаправленого DC-DC перетворювача зі зворотним зв'язком і пасивним снабберним контуром. Двонаправлений перетворювач (див. рисунок 2.3) забезпечує заряджання акумулятора в режимі «back» і розряджання в режимі «bust», а також забезпечує живлення для навантаження електромобіля.

Коли потужність, що генерується фотоелектричною системою, перевищує необхідну потужність навантаження, основною функцією накопичувача енергії є заряджання акумулятора та розряджання акумулятора, коли згенерованої потужності недостатньо для заряджання електромобілів. Конфігурація ізольованого двонаправленого перетворювача зі зворотним зв'язком і пасивним демпферним контуром значно знижує вплив циркулюючого струму на головні вимикачі, таким чином, стрибки напруги на головних вимикачах ефективно гасяться. Двонаправлений перетворювач використовує шунт зі зворотним зв'язком і два пасивні конденсаторно-діодні шунти для зменшення високих

струмів і напруг, які виникають на головному вимикачі під час переходів увімкнення та вимкнення. У порівнянні з перетворювачем без снабберних ланцюгів, ефективність перетворювача зі снабберними ланцюгами є вищою. Перетворювач досягає умов перемикання нульової напруги швидше, ніж перетворювач без снаббера. Така конструкція забезпечує покращену продуктивність автономної станції зарядки електромобілів (СЗЕ). Крім того, використання схеми з дроселем в СЗЕ замість того, щоб мати по одному в кожному електромобілі, є менш дорогим і більш економічно ефективним.

2.4 Зарядний пристрій для електромобілів

Перетворювач напруги (показаний на рисунку 2.4) - це зарядний пристрій для EV, який складається з MOSFET-перемикача, котушки індуктивності, діода і конденсатора. Основними завданнями зарядного пристрою є підключення шини постійного струму до клем батареї EV і керування струмом зарядки. У цій роботі зарядний струм обмежено до 100 А.

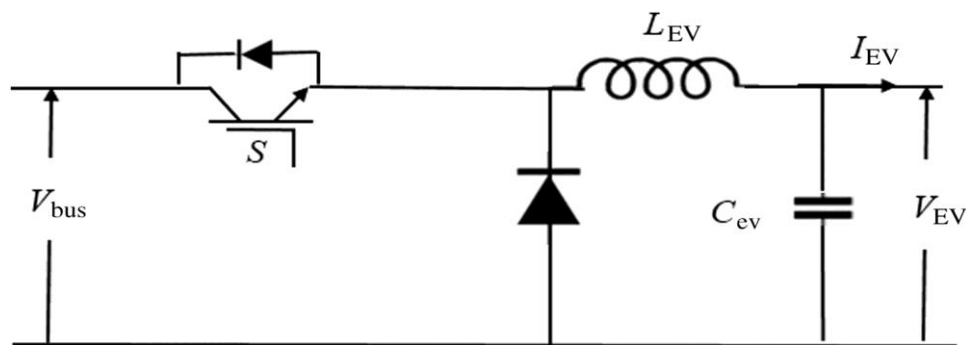


Рисунок 2.4 - Перетворювач напруги для електромобілів

2.5 Проект фотоелектричної зарядної станції

У цій роботі пропонується фотоелектрична система для заряджання електромобілів за допомогою перетворювача, що використовує алгоритм MPPT. Фотоелектричні модулі спроектовані в системі з напругою 1500 В і різними діапазонами літій-іонних акумуляторів. На рис. 2.5 показана основна

конструкція зарядної станції для електромобілів, що живиться від фотоелектричної системи. В Таблиці 2.1 наведено основні характеристики використаних фотомодулів.

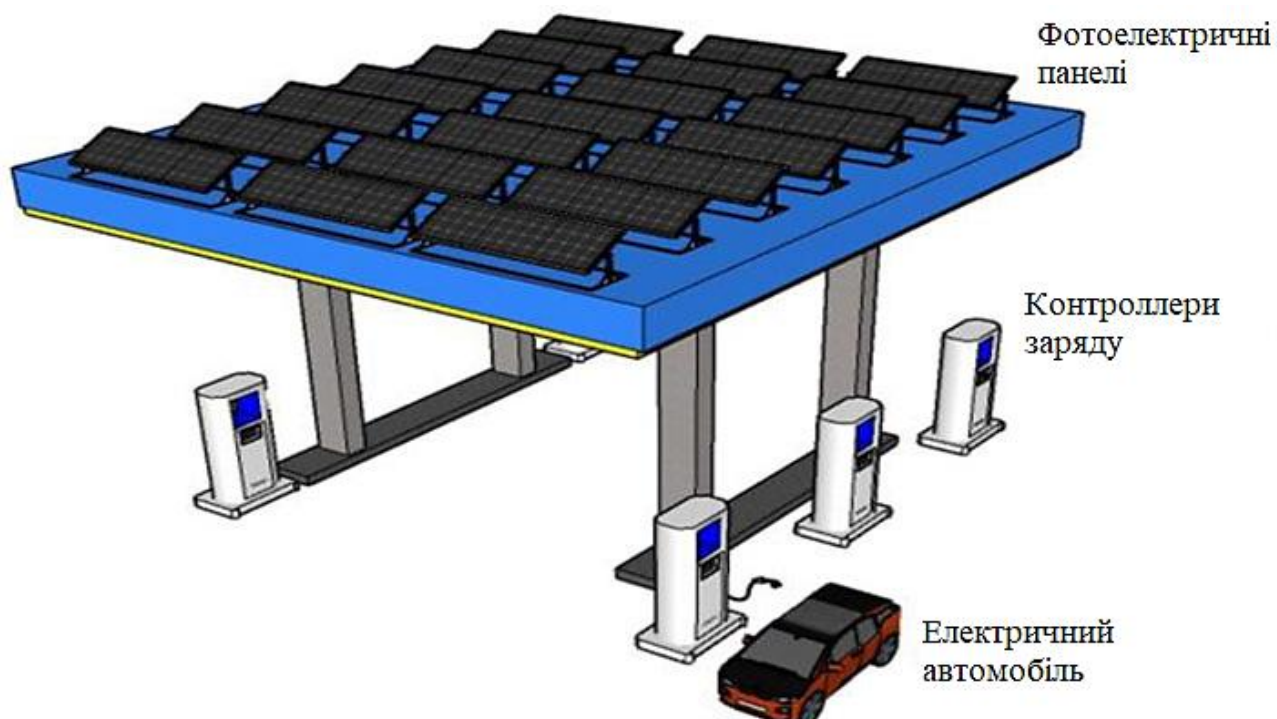


Рисунок 2.5 - Основна конструкція зарядної станції для електромобілів, яка живиться від фотоелектричної системи

Таблиця 2.1 - Технічний паспорт фотоелектричного модуля

Величина	Значення
Назва модуля	Trina Solar TSM-350DEG14.40
Максимальна потужність	350 Вт
Кількість комірок у модулі	72 комірки
Напруга холостого ходу, V	46,9 В
Струм короткого замикання, I_{sc}	9,6 А
Максимальна напруга живлення, V_{mp}	38,5 В
Максимальний струм живлення, I_{mp}	9,09 А
V_{oc} температурний коефіцієнт	-0,3014%/°C
I_{sc} температурний коефіцієнт	0,054604%/°C
Струм, що генерується, I_L	9,6084 А

Сонячна батарея подає енергію на перетворювач напруги. Цей перетворювач знижує напругу фотоелектричних модулів до системної напруги для кожної системи відповідно до вимог. У цьому перетворювачі використовується концепція MPPT, щоб отримати найкращу потужність та енергію від фотоелектричних модулів, а потім віддати її на навантаження, яким є запропонована батарея електромобіля. Технічний паспорт системи літій-іонних акумуляторів для кожної моделі наведено нижче. У таблиці 2.2 показана енергетична ємність для моделей електромобілів.

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики літій-іонних акумуляторів

Електромобілі (навантаження)	Енергія акумулятора (кВт · год)	Напруга системи (В)
BMW i3 2019	42,2	353
Volkswagen e-Golf	35,8	323
Fiat 500e Hatchback	24	364
Mercedes EQA 250	66,5	420
Hyundai Kona Electric	64	356

2.6 Фотоелектричні панелі

Фотоелектричні панелі виробляють електроенергію постійного струму, використовуючи сонячне світло як вид енергії [33]. У модулях використовуються кристалічні кремнієві елементи на основі пластин. Ця модель пропонує фотоелектричний масив для живлення навантаження (електромобілів). Фотоелектричний масив визначається як сукупність паралельно з'єднаних струн. Струни: деякі фотомодулі з'єднані послідовно. Стандартна схема фотоелектричного модуля зображена на рис. 2.6 Математична модель вихідного струму групи фотоелементів для одного фотомодуля виглядає наступним чином [34]:

$$I_A = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left[\exp \left(\frac{q \left(\frac{V}{N_s} + I \frac{R_s}{N_p} \right)}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{V \left(\frac{N_p}{N_s} \right) + I R_s}{R_{sh}} \quad (2.1)$$

- де N_p - кількість паралельно з'єднаних комірок;
 N_s - кількість послідовно з'єднаних комірок;
 I_{ph} - фотострум сонячного елемента;
 I_0 - струм насичення для діода, що дорівнює $3,5075 \cdot 10^{-11}$ А;
 n - коефіцієнт ідеальності, що дорівнює 0,96299;
 K - постійна Больцмана, яка дорівнює $1,380658 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;
 T - робоча температура сонячного елемента (К);
 V - еквівалент напруги;
 R_s - послідовний опір, що дорівнює 0,32702 Ом;
 I_A - струм, що генерується фотоелектричними елементами;
 R_{sh} - шунтуючий опір, що дорівнює 597,8018 Ом;
 Q - заряд електрона, що дорівнює $1,6022 \cdot 10^{-19}$ Кл.

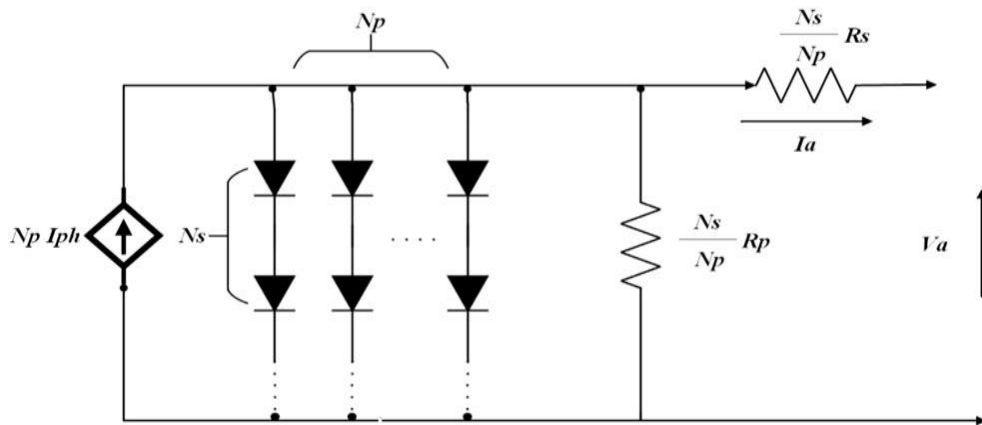


Рисунок 2.6 - Еквівалентна схема для сонячних елементів

Максимальний струм, максимальна напруга і максимальна потужність групи фотоелементів представлені через I_m , V_m і P_m відповідно.

$$P_m = V_m I_m \quad (2.7)$$

На рис. 2.7 зображено I-V та P-V характеристики фотоелектричної батареї.

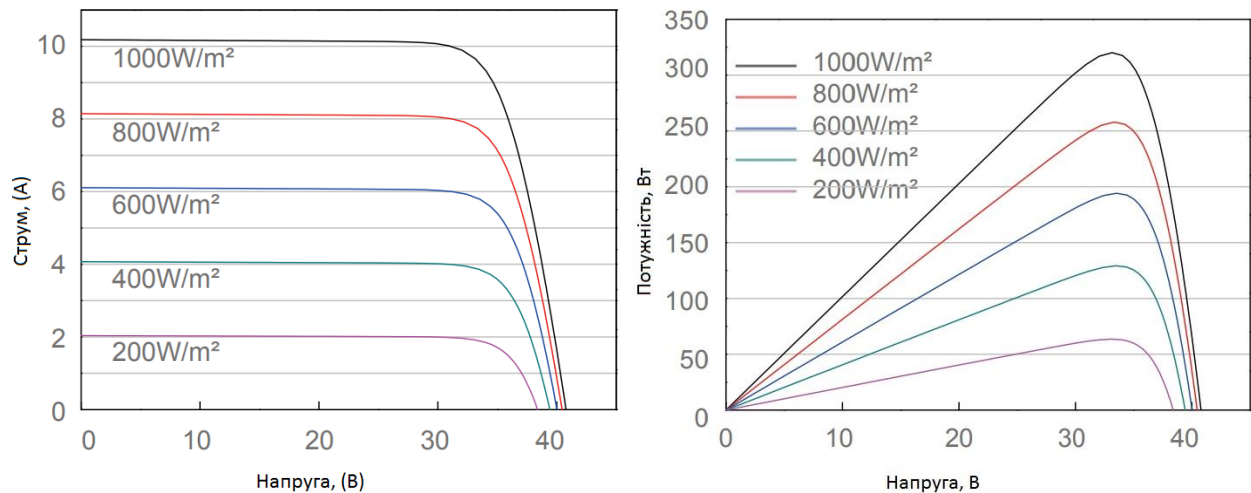


Рисунок 2.7 – Вольт-амперні характеристики фотоелектричної батареї

2.7 DC-DC перетворювач

DC-DC перетворювач - це схема силової електроніки, яка знижує напругу з більшої вхідної напруги постійного струму до меншої вихідної напруги постійного струму. Він складається з керованого перемикача (MOSFET), котушки індуктивності (L), перемикаючого діода і ємності (C). Це отримано на наступному рис. 2.8 Конденсатор і котушка індуктивності важливі для забезпечення стабільного струму в навантаженні EV. Фільтри, що складаються з конденсаторів з котушками індуктивності, використовуються для зменшення пульсацій напруги. Котушка індуктивності відповідає за забезпечення і придушення пульсацій вихідного струму одночасно. Конденсатор використовується для підтвердження безперервного потоку струму по всьому навантаженню EV, стабілізуючи рівень напруги на навантаженні EV і

пропускаючи через нього пульсації струму. Таким чином, L і C працюють як фільтр на виході.

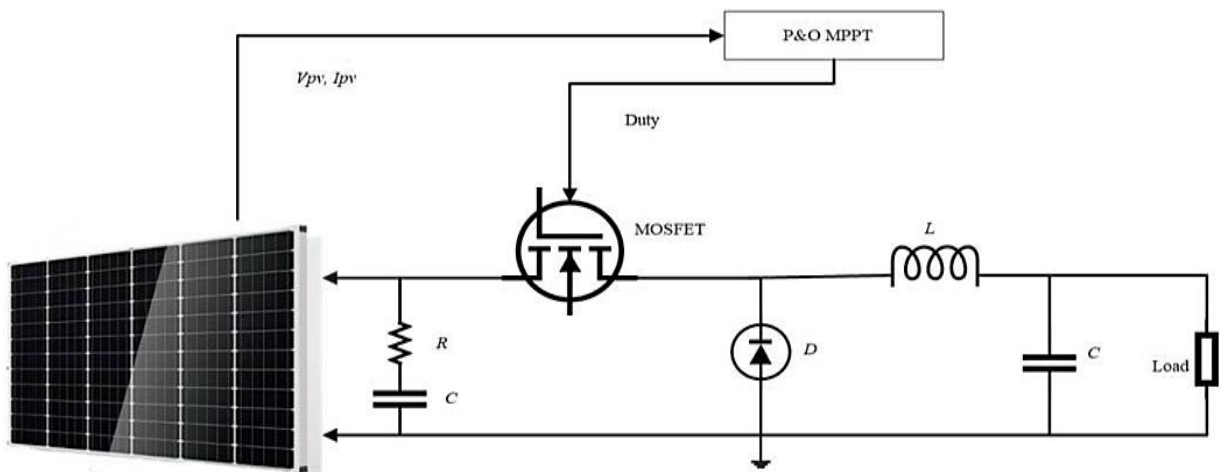


Рисунок 2.8 - Схема DC-DC перетворювача

2.7.1 Робота DC-DC перетворювача

Коли вимикач увімкнений, він подає струм на навантаження. Оскільки енергія також зберігається в L , потік струму до навантаження спочатку обмежений. Тим не менш, струм в навантаженні і заряд на C неухильно зростають протягом періоду «увімкнення». Енергія, що міститься в магнітному полі навколо L , повертається в ланцюг, коли транзистор вимикається. Напруга через котушку індуктивності L (зворотна є.р.с.) має зворотну полярність від напруги на L під час фази увімкнення. Крім того, магнітне поле, що зминає, має достатній запас енергії, щоб підтримувати доступ до струму протягом мінімальної частини часу, коли транзистор відкритий. Зворотна є.р.с. котушки індуктивності тепер викликає струм через навантаження і прямий діод зміщення. Заряд, що міститься в C , стає основним джерелом струму, коли котушка індуктивності повернула значну частину своєї енергії, що зберігалася в ланцюзі. Коли напруга на навантаженні починає падати, починається підтримання струму, що проходить через навантаження до наступної дати увімкнення.

2.7.2 Конструкція DC-DC перетворювача

Конструкція котушки індуктивності, конденсатора та навантажувального резистора DC-DC перетворювача є наступною:

Робочий цикл:

$$D = \frac{V_o}{V_i} \quad (2.8)$$

де D - робочий цикл;

V_o - вихідна напруга системи;

V_i - вхідна напруга системи, яка в даному випадку дорівнює напрузі однієї струни.

Індуктивність L можна розрахувати за наступним рівнянням [35]:

$$L = \frac{1 - D}{2FI_0} V_o \quad (2.9)$$

де I_0 - вихідний струм системи;

F - частота комутації.

Ємність C можна розрахувати за наступним рівнянням [35]:

$$C = \frac{1 - D}{2 \cdot F^2 \cdot L \cdot V_{ripple}} V_o \quad (2.10)$$

де V_{ripple} дорівнює 1%.

Опір навантаження R (EVs) розраховується за наступним рівнянням:

$$R = \frac{V_o}{I_0} \quad (2.11)$$

2.8 Літій-іонний акумулятор

Батареї є одним з найважливіших способів зберігання електричної енергії. У цій роботі в якості навантаження запропоновано акумулятори

електромобілів. В даній роботі, серед існуючих акумуляторних батарей, актуальними для електромобілів є літій-іонні акумулятори, які на сьогоднішній день визнані ідеальним рішенням для електромобілів. Літій-іонні акумулятори є кращими з точки зору енергоефективності та концентрації енергії. Літій-іонна батарея має високу об'ємну (щільність енергії) і питому щільність енергії при меншому діаметрі і меншій вазі елементів. Щільність енергії батареї є функцією її ваги, тоді як об'ємна щільність енергії є функцією її об'єму. Енергію в акумуляторі пропонується позначати як WH , яка в наступному рівнянні виражає енергію в будь-якій колекції акумуляторів або в одному акумуляторі.

$$WH = V \cdot AN \quad (2.12)$$

де V - напруга системи батарей;

AN - ємність акумуляторів.

На рис. 2.9 показано порівняння щільності енергії свинцево-кислотних, нікель-кадмієвих, нікель-металогідридних та літій-іонних акумуляторів [36].

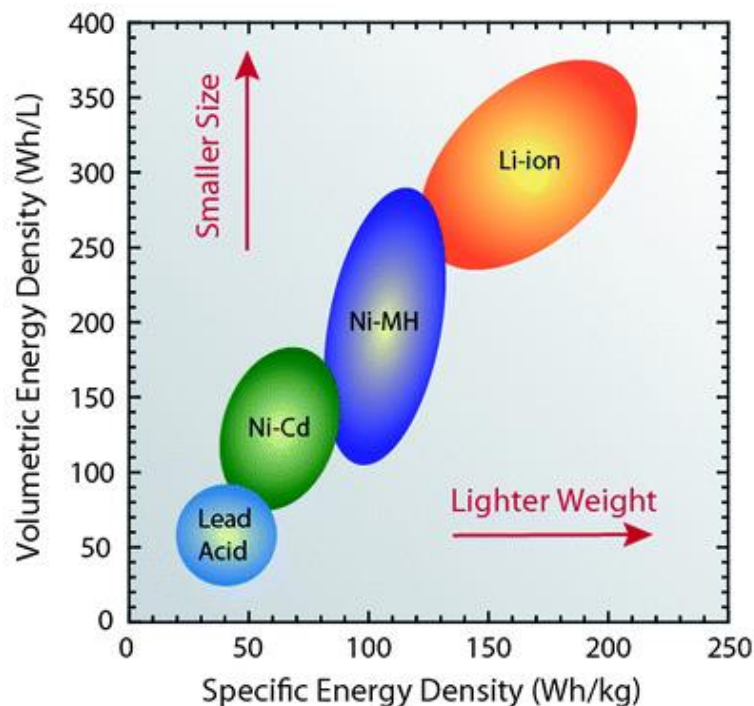


Рисунок 2.9 - Щільність енергії в акумуляторах [36]

2.9 Відстеження точки максимальної потужності

Для досягнення максимальної вихідної потужності в цьому підході використовується метод Perturb & Observe (MPPT). На рисунку 2.10 зображено криву вихідної потужності фотоелектричного модуля як залежність (P-V) при постійному освітленні та постійній температурі елемента, враховуючи, що фотоелектричний модуль працює далеко від MPPT.

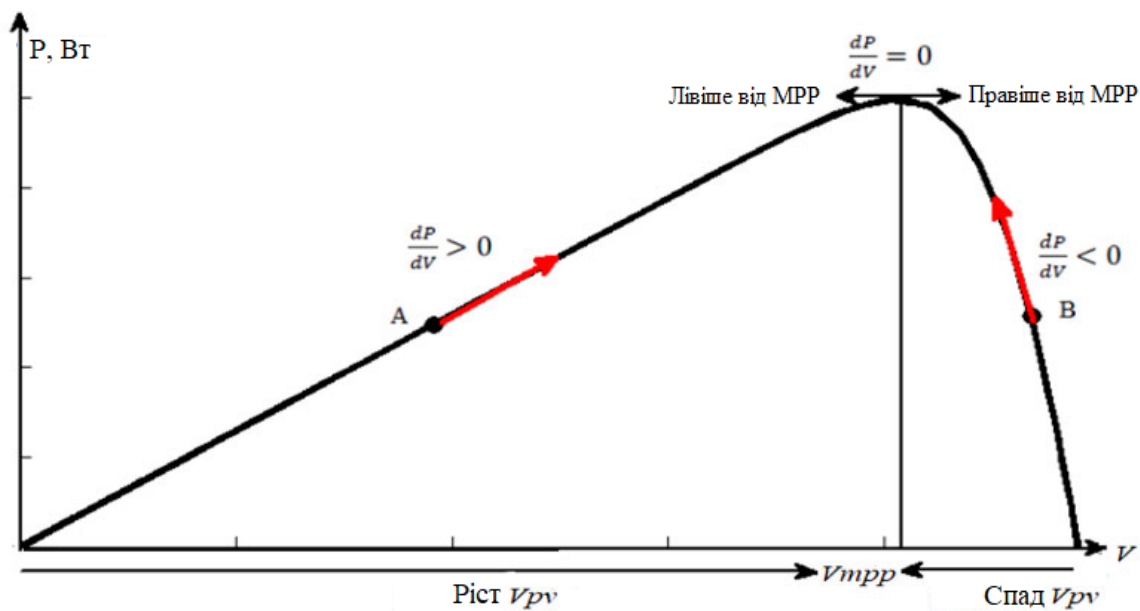


Рисунок 2.10 - P&O на кривій P-V

У цій процедурі робоча напруга фотоелектричного модуля порушується незначним підвищенням, і вимірюється зміна потужності, P , що відбувається внаслідок цього. Якщо P позитивне, вважається, що робоча точка перемістилася ближче до MPP. В результаті більшої кількості збурень напруги на подібному шляху робоча точка повинна бути найближчою до MPP. Якщо P від'ємне, то робоча точка відхиляється від MPP, і шлях збурення слід змінити, щоб повернути її до MPP.

Підхід P&O використовується для отримання максимальної потужності з сонячної енергії, хоча він має повільнішу динамічну реакцію, ніж нечітке логічне керування (НЛК). Тому, щоб отримати успішну похибку в

стаціонарному режимі, ми використовували менші кроки. На рисунку 2.11 показано блок-схему фотоелектричної системи з Р&О МРРТ. На рисунку 2.12 показано блок-схему алгоритму Р&О.

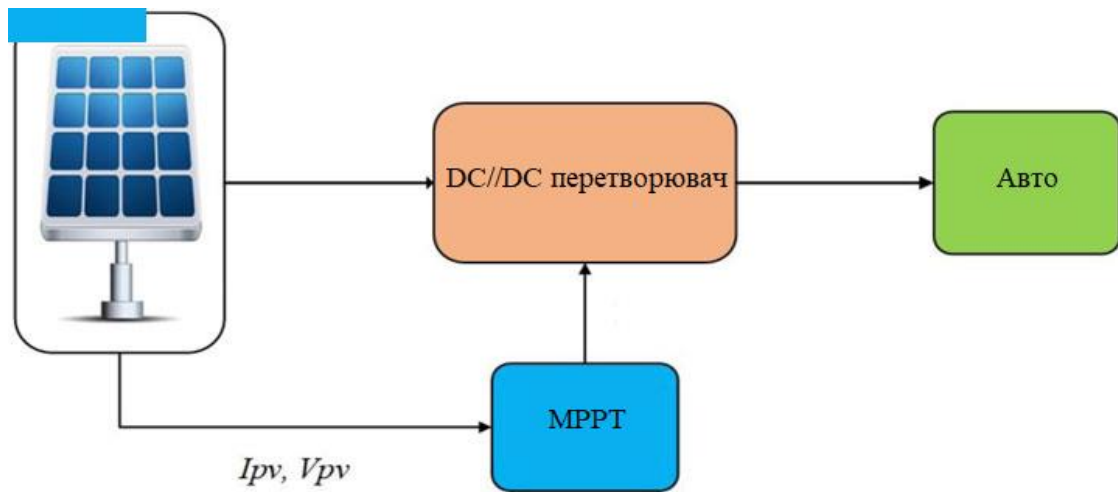


Рисунок 2.11 - Структурна схема фотоелектричної системи з Р&О МРРТ

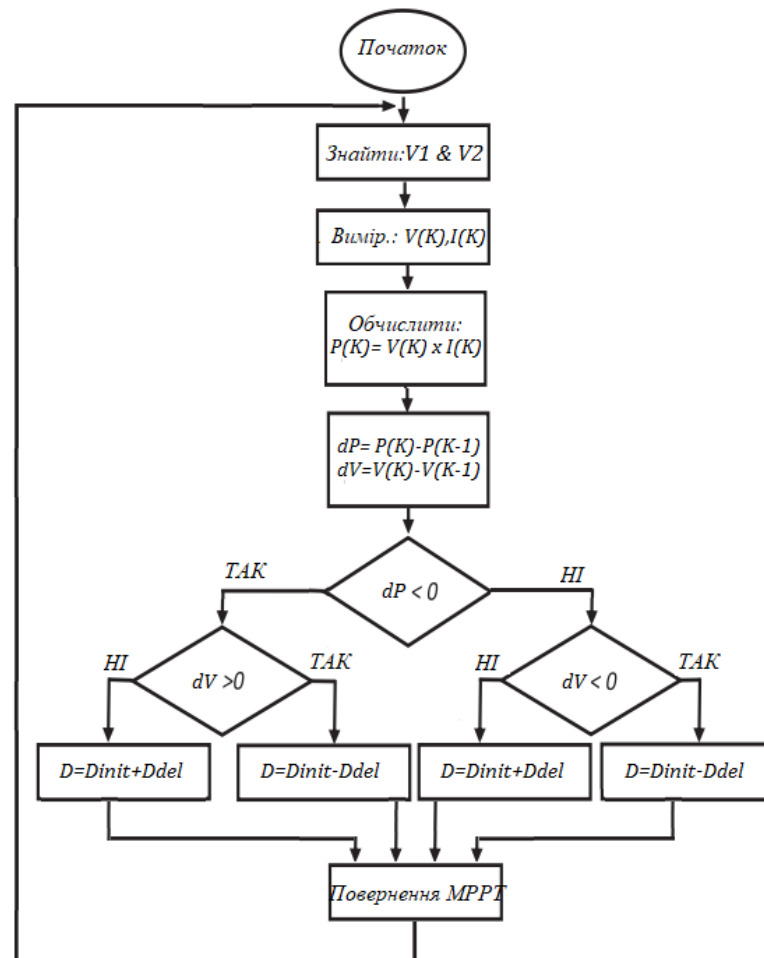


Рисунок 2.12 - Блок-схема алгоритму Р&О

2.10 Висновки до розділу

1. Запропоновано конструкцію зарядної станції для електромобілів, що живиться від фотоелектричної системи.
2. Проектована зарядна станція розрахована на одночасну зарядку 5 електромобілів. Підвищувальний перетворювач постійного струму підключає фотоелектричну систему до шини постійного струму 400 В. Ізольований двонаправлений DC-DC перетворювач з активним і пасивним снаббером забезпечує передачу енергії між акумулятором і фотоелектричною системою.
3. До складу накопичувача енергії входять акумуляторна батарея та ізольований двонаправлений DC-DC перетворювач з активним і пасивним снаббером, який може накопичувати і віддавати енергію, що досягається за рахунок підтримки напруги на шині постійного струму в розумному діапазоні незалежно від умов, в яких вона використовується.
4. Фотоелектрична система, яка складається з двох фотоелектричних полів потужністю 50 кВт кожне, є основним джерелом енергії для автономної системи постійного струму, що забезпечує загальну потужність 100 кВт.
5. Накопичувач енергії зберігає/віддає енергію від фотоелектричної системи з максимальною потужністю 80 кВт.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вхідні дані для моделювання

Для визначення властивостей спроектованої схеми інвертора було використано MATLAB Simulink. Імітаційна модель фотоелектричної системи в MATLAB, в якій застосовано контролер P&O MPPT, показана на рис. 3.1. Температура підтримується на рівні 25°C, а опромінення - на рівні 1,000 Вт/м². У цій роботі було змодельовано потужність вхідного та вихідного MPPT-контролера та його ефективність, час заряджання, а також характеристики рівнів напруги та струму для кожної моделі цих електромобілів. Всі моделі були протестовані за умови дисперсії рівня опромінення та дисперсії температури. Навантаження електромобілів: BMW i3 2019, Volkswagen e-Golf та Fiat 500e. Дані електромобілів наведено згідно з базою даних [37]. Характеристики цих п'яти моделей наведені в таблиці 3.1. На рисунку 3.2 показано фотоелектричну систему з моделями електромобілів у симуляції MATLAB.

Таблиця 3.1 - Основні параметри MATLAB-моделі

Батарея Навантаження (EVs)	Фотоелектрична панель (потужність 350 Вт)				Контролер MPPT			
EVs (Навантаження)	Батарея енергія (кВт·год)	Система напруга (В)	Кількість послідовних PV-модулів	Кількість стрінгів	R основний (Ом)	R додатковий (Ом)	L (Гн)	c (F)
BMW i3 2019	42,2	353	23	6	2,58	0,1	1.550e-4	7.755e-3
Volkswagen e-Golf	35,8	323	23	5	2,59	0,1	1.646e-4	7.716e-3
Fiat 500e Hatchback	24	364	24	6	2,63	0,1	1.593e-4	7.609e-3
Mercedes EQA 250	66,5	420	23	14	1,565	0,045	8.233e-5	0.012777
Hyundai Kona Electric	64	356	22	10	1,6459	0,045	9.546e-5	0.012152

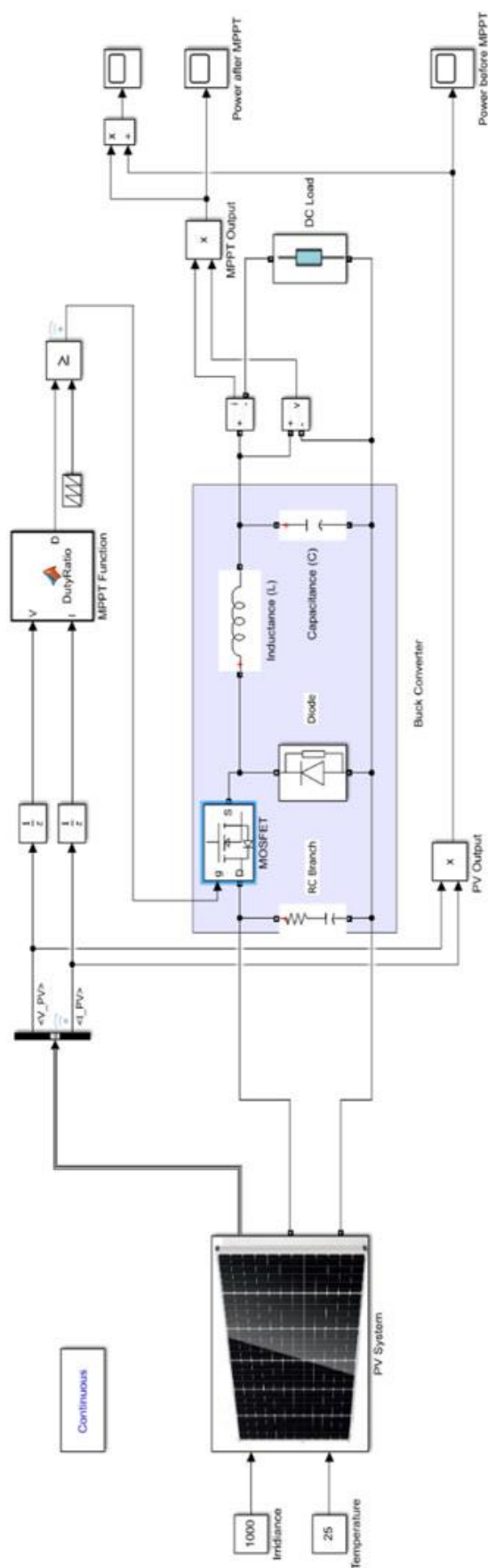


Рисунок 3.2 - Імітаційна модель фотоелектричної системи в MATLAB з MPPT контролером

3.2 Результати моделювання ефективності MPPT контролера

Платформа MATLAB використовується для отримання та розрахунку ефективності MPPT відповідно до вхідної та вихідної потужності для кожної системи. Всі моделі EV тестувалися при змінному опроміненні, яке змінювалося від 600 Вт/м² до 1000 Вт/м², а також при змінній температурі від 20°C до 30°C.

По-перше, результати моделювання ефективності MPPT-контролера для BMW i3 2019 року за постійної температури 25°C становлять 97,06%, 97,18% і 97,22% при 1 000, 800 і 600 Вт/м² відповідно. По-друге, результати моделювання, отримані при постійному опроміненні 1000 Вт/м², становлять 97,07%, 97,06% і 97,05% при 30, 25 і 20°C відповідно.

Таблиця 3.2 ілюструє результати роботи MPPT-контролера для BMW i3 2019 року при змінному випромінюванні - постійній температурі та постійному випромінюванні - змінній температурі.

Таблиця 3.2 - Вхідна, вихідна потужність та ефективність MPPT-контролера для досліджуваних моделей електромобілів

Робочий стан	значення	Вхідна потужність фотоелектрично ї станції на контролері MPPT, (Вт)	MPPT вихідна потужність (Вт)	Ефективність контролера MPPT (%)
BMW i3 2019				
Зміна випромінювання та постійна температура (25°C)	1000 Вт/м ²	48270	46850	97,06
	800 Вт/м ²	38820	37720	97,18
	600 Вт/м ²	29180	28370	97,22
Постійне випромінювання (1000 Вт/м ²) і змінна температура	30°C	47400	46010	97,07
	25°C	48270	46850	97,06
	20°C	49140	47690	97,05
Volkswagen e-Golf				
Зміна випромінювання та постійна температура (25°C)	1000 Вт/м ²	40230	39030	97,01
	800 Вт/м ²	32350	31390	97,04
	600 Вт/м ²	24320	23610	97,09

Продовження таблиці 3.2

Постійне випромінювання (1000 Вт/м ²) і змінна температура	30°C	39500	38280	96,92
	25°C	40230	39030	97,01
	20°C	40950	39680	97,01
Fiat 500e Hatchback				
Зміна випромінювання та постійна температура (25°C)	1000 Вт/м ²	50370	48890	97,05
	800 Вт/м ²	40510	39370	97,2
	600 Вт/м ²	30450	29630	97,32
Постійне випромінювання (1000 Вт/м ²) і змінна температура	30°C	49460	47990	97,02
	25°C	50370	48890	97,05
	20°C	51280	49760	97,04
Mercedes EQA 250				
Зміна випромінювання та постійна температура (25°C)	1000 Вт/м ²	112600	108400	96,29
	800 Вт/м ²	90560	87490	96,61
	600 Вт/м ²	68080	66170	97,2
Постійне опромінення (1000 Вт/м ²) і змінна температура	30°C	110600	106400	96,27
	25°C	112600	108400	96,29
	20°C	114600	110400	96,33
Hyundai Kona Electric				
Зміна випромінювання та постійна температура (25°C)	1000 Вт/м ²	76940	74200	96,44
	800 Вт/м ²	61880	59850	96,73
	600 Вт/м ²	46520	45220	97,22
Постійне випромінювання (1000 Вт/м ²) і змінна температура	30°C	75550	72840	96,42
	25°C	76940	74200	96,44
	20°C	78320	75560	96,48

На рис. 3.3 показано результати роботи МРРТ-контролера для BMW і3 2019 року за двох умов експлуатації: змінна освітленість - постійна температура та постійна освітленість - змінна температура.

По-перше, результати моделювання ефективності МРРТ-контролера для *Volkswagen e-Golf* при постійній температурі 25°C становлять 97,01%, 97,04% і 97,09% при 1000, 800 і 600 Вт/м² відповідно. По-друге, результати моделювання, отримані при постійному опроміненні 1000 Вт/м², становлять 96,92%, 97,01% і 97,01% при 30, 25 і 20°C відповідно.

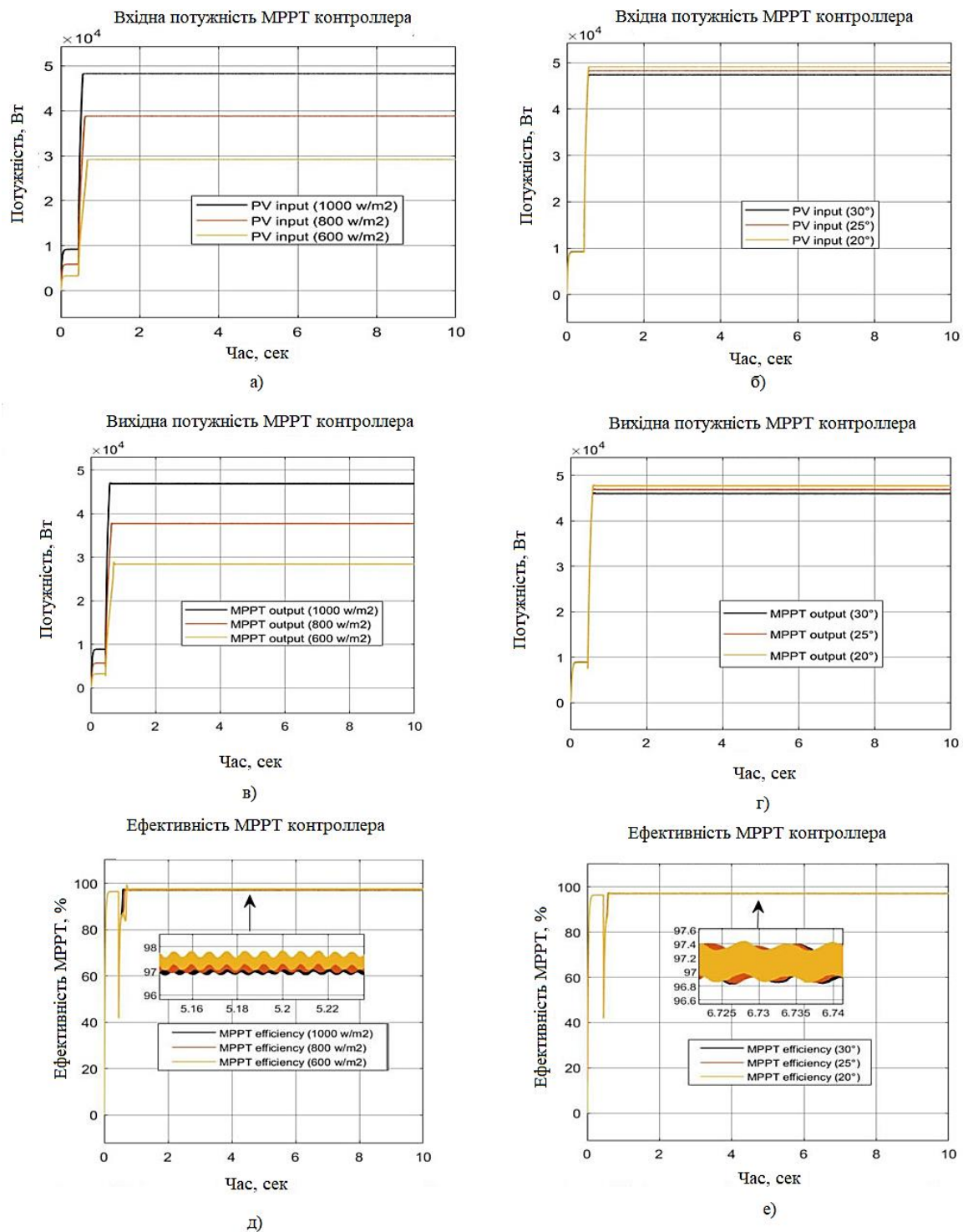


Рисунок 3.3 - Результати моделювання роботи MPPT-контролера для
BMW i3 2019

а) потужність на вході фотоелектричного перетворювача в MPPT-контролер при змінній освітленості та постійній температурі.

б) потужність на вході фотоелектричного перетворювача в MPPT-контролер при постійному освітленні та змінній температурі.

- в) вихідна потужність MPPT контролера при змінному освітленні та постійній температурі.
- г) вихідна потужність MPPT контролера при постійній освітленості та змінній температурі.
- д) ефективність MPPT-контролера при змінній освітленості та постійній температурі.
- е) ефективність MPPT-регулятора при постійній освітленості та змінній температурі.

Таблиця 3.2 ілюструє результати роботи MPPT-контролера для Volkswagen e-Golf при змінній освітленості - постійній температурі та постійній освітленості - змінній температурі. На рис. 3.4 показано результати роботи MPPT-контролера для Volkswagen e-Golf у двох режимах роботи: змінна освітленість - постійна температура та постійна освітленість - змінна температура.

По-перше, результати моделювання ефективності MPPT-контролера для *Fiat 500e Hatchback* при постійній температурі 25°C становлять 97,05%, 97,2% і 97,32% при 1,000, 800 і 600 Вт/м² відповідно. По-друге, результати моделювання, отримані при постійному опроміненні 1000 Вт/м², становлять 97,02%, 97,05% і 97,04% при 30, 25 і 20°C відповідно. Таблиця 3.2 ілюструє результати роботи контролера MPPT для *Fiat 500e Hatchback* при змінній освітленості - постійній температурі та постійній освітленості - змінній температурі. На рис. 3.5 показано результати роботи контролера MPPT для *Fiat 500e Hatchback* у двох режимах роботи: змінна освітленість - постійна температура та постійна освітленість - змінна температура.

Результати моделювання ефективності MPPT-контролера для *Mercedes EQA 250* при постійній температурі 25°C становлять 96,29%, 96,61% і 97,2% при 1,000, 800 і 600 Вт/м² відповідно. Результати моделювання, отримані при постійному опроміненні 1000 Вт/м², становлять 96,27%, 96,29% і 96,33% при 30, 25 і 20°C відповідно. Таблиця 3.2 ілюструє результати роботи MPPT-контролера для *Mercedes EQA 250* при змінній освітленості - постійній температурі та постійній освітленості - змінній температурі.

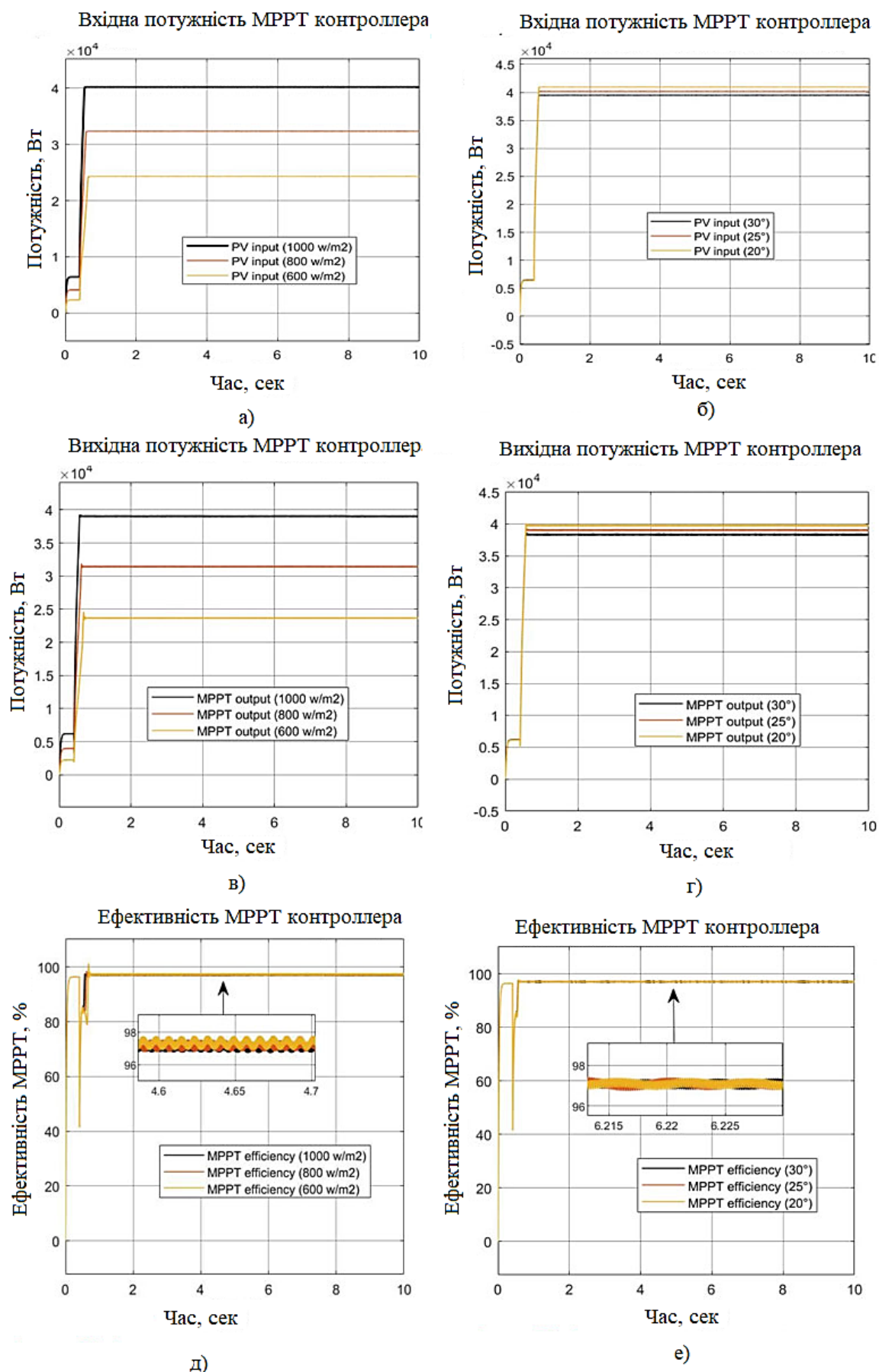


Рисунок 3.4 - Результати моделювання роботи MPPT-контроллера для Volkswagen e-Golf

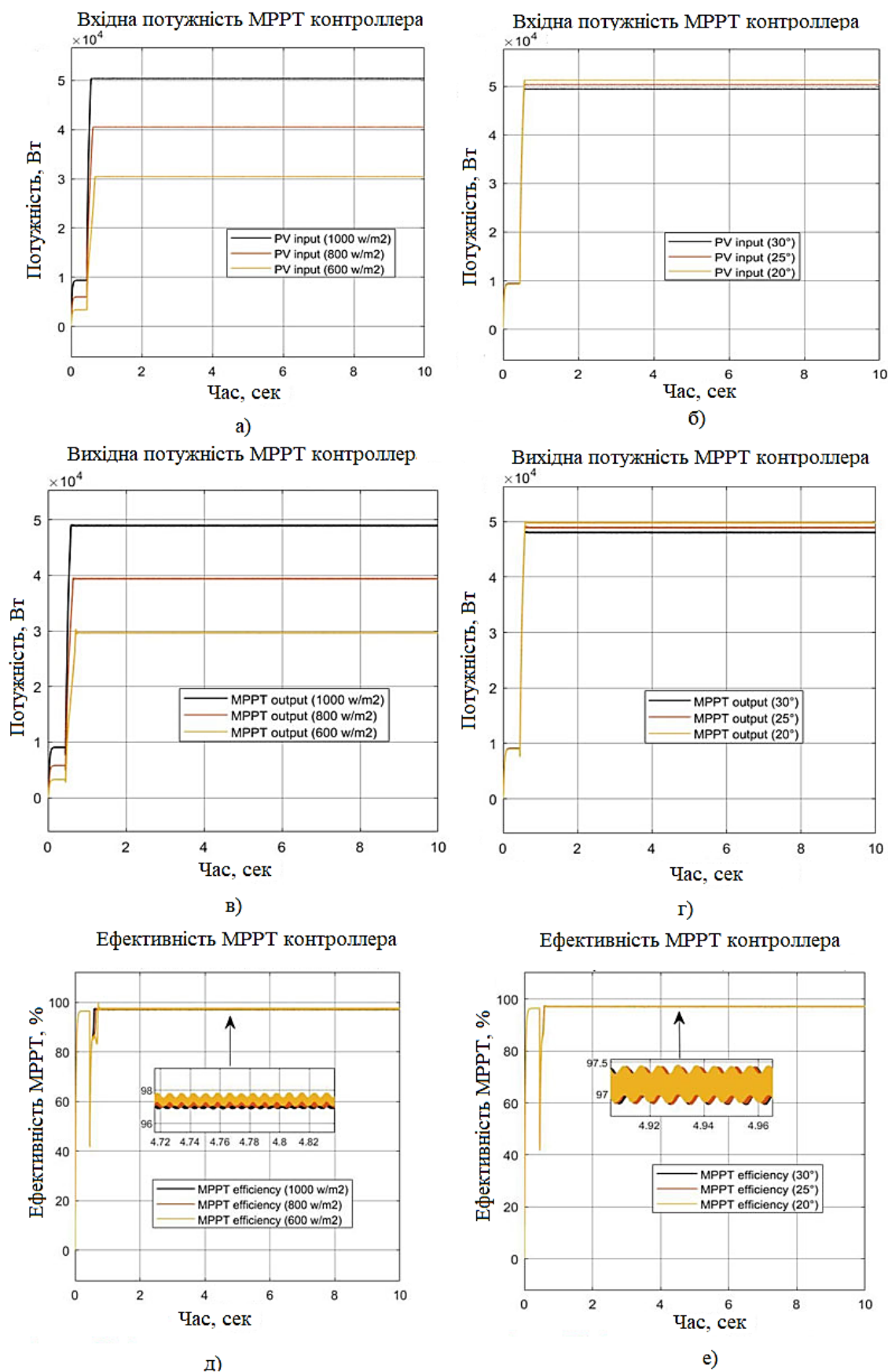


Рисунок 3.5 - Результати моделювання роботи MPPT-контролера для
Fiat 500e Hatchback

На рис. 3.6 показано результати роботи MPPT-регулятора для Mercedes EQA 250 за двох умов експлуатації: змінна освітленість - постійна температура та постійна освітленість - змінна температура.

Результати моделювання ефективності MPPT-контролера для Hyundai Kona Electric при постійній температурі 25°C становлять 96,44%, 96,73% і 97,22% при 1000, 800 і 600 Вт/м² відповідно. По-друге, результати моделювання, отримані при постійному опроміненні 1000 Вт/м², становлять 96,42%, 96,44% і 96,48% при 30, 25 і 20°C відповідно. Таблиця 3.2 ілюструє результати роботи MPPT-контролера для Hyundai Kona Electric при змінній освітленості - постійній температурі та постійній освітленості - змінній температурі.

На рис. 3.7 показано результати роботи MPPT-регулятора для Hyundai Kona Electric у двох режимах роботи: змінна освітленість - постійна температура та постійна освітленість - змінна температура.

Вихідна потужність фотоелектричних модулів від MPPT-контролера P&O близька до максимально доступної потужності, зазначеної в технічних характеристиках фотоелектричних модулів. При постійній температурі 25°C і змінному опроміненні від 600 до 1000 Вт/м², найвища потужність припадає на 1000 Вт/м². Також, при постійному випромінюванні 1000 Вт/м² і змінній температурі від 20°C до 30°C, максимальна потужність досягається при нижчій температурі.

З результатів Імітаційного моделювання випливає, що застосування методу MPPT до сонячної системи дозволяє досягти високої ефективності для зарядки електромобілів, оскільки результати для будь-якої системи були не менше 96%.

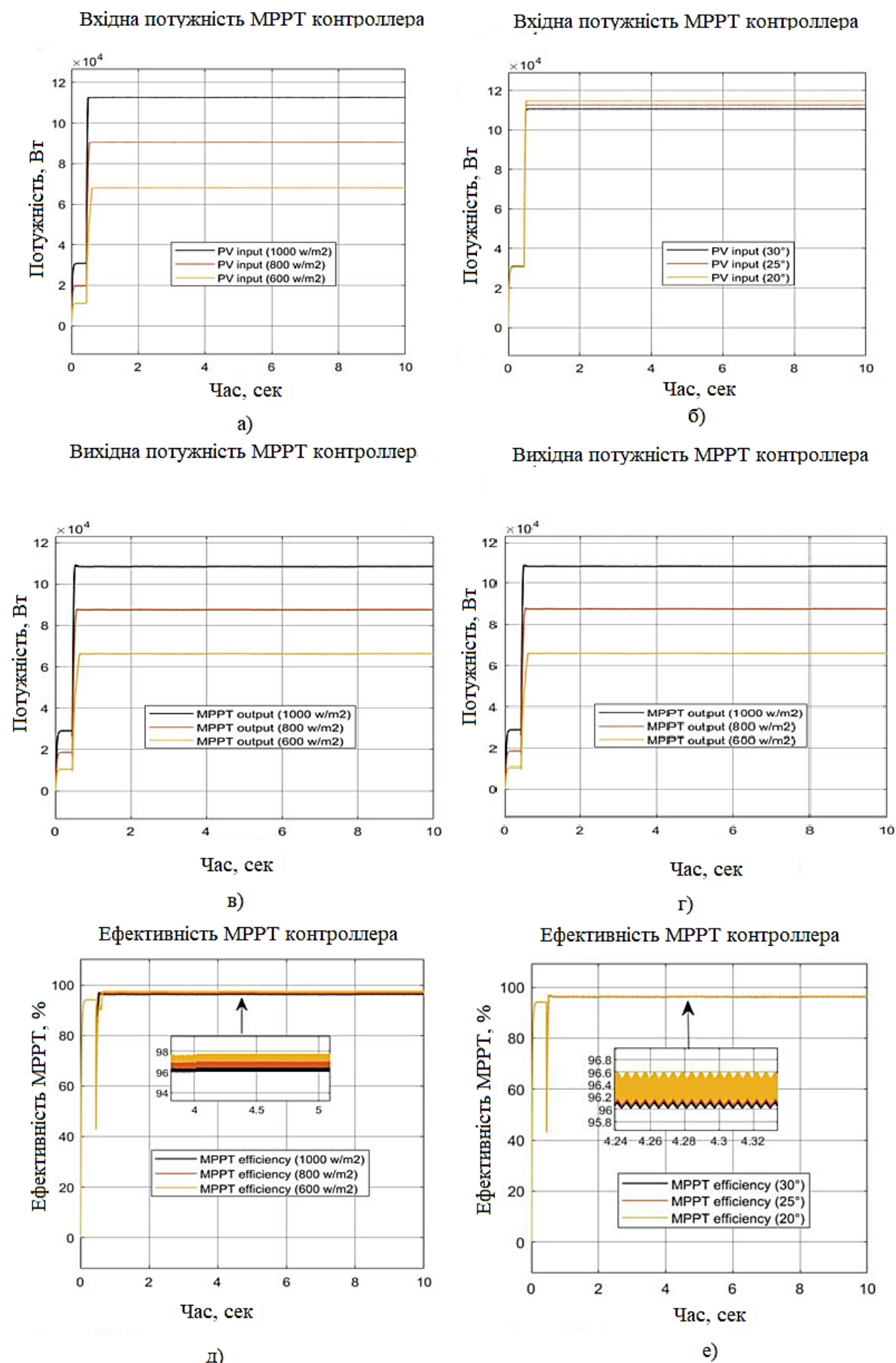


Рисунок 3.6 - Результати моделювання MPPT-контролера для
Mercedes EQA 250

3.3 Результати моделювання часу зарядки

Моделі також тестували час зарядки для кожного електромобіля і починали стан заряду з 20%. Для електромобілів ідеальна область СЗ коливається від 20 до 80%. Модель розраховує часовий заряд від 20 до 80% СЗ. При постійному опроміненні 1000 Вт/м^2 і постійній температурі 25°C . Модель MATLAB, яка використовується для вимірювання часового заряду, показана на рис. 3.8.

Результати моделювання для BMW i3 2019 року, час заряджання з 20 до 80% СЗ становить 35-36 хв, а еталонний час заряджання BMW i3 2019 року з 10 до 80% СЗ становить 36 хв згідно з базою даних електромобілів [37]. При постійному опроміненні 1000 Вт/м^2 , постійній температурі 25°C та вхідній потужності фотоелектричної установки 48270 Вт, як показано на рисунку 3.9, а.

Результати моделювання для Volkswagen e-Golf: час заряджання з 20 до 80% СЗ становить 35 хв, а еталонний час заряджання Volkswagen e-Golf з 10 до 80% SOC становить 36 хв згідно з базою даних електромобілів [37]. При постійному опроміненні 1000 Вт/м^2 , постійній температурі 25°C і вхідній потужності фотоелектричної установки 40230 Вт, що показано на рисунку 3.9,б.

Результати моделювання для Fiat 500e Hatchback, час заряджання з 20 до 80% СЗ становить 19-20 хв, а еталонний час заряджання Fiat 500e Hatchback з 10 до 80% СЗ становить 24 хв згідно з базою даних електромобілів [37]. При постійному опроміненні 1000 Вт/м^2 , постійній температурі 25°C та вхідній потужності фотоелектричної установки 50370 Вт, що показано на рисунку 3.9,в.

Результати моделювання для Mercedes EQA 250, час заряджання з 20 до 80% СЗ становить 24-25 хв, а еталонний час заряджання Mercedes EQA 250 з 10 до 80% СЗ становить 29 хв згідно з базою даних електромобілів [37]. При постійному опроміненні 1000 Вт/м^2 , постійній температурі 25°C і вхідній потужності фотоелектричної системи 112600 Вт, що показано на рисунку 3.9,г.

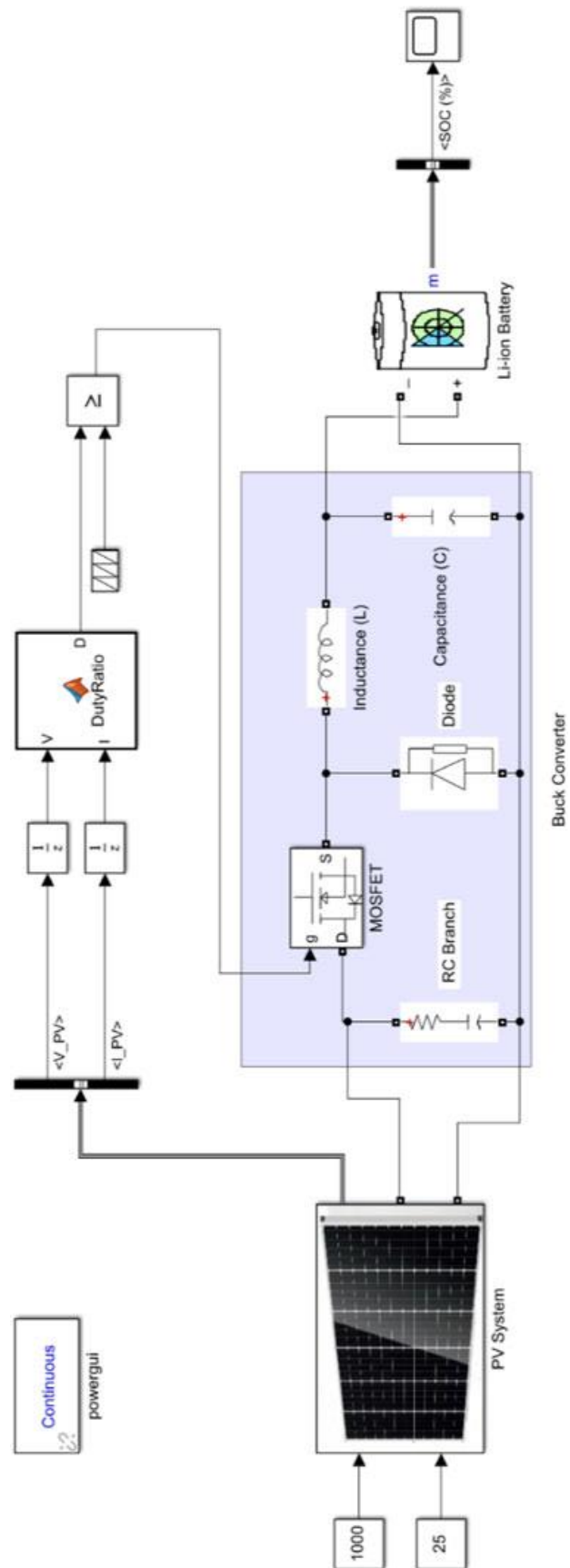


Рисунок 3.8 Модель MATLAB для вимірювання часу заряджання

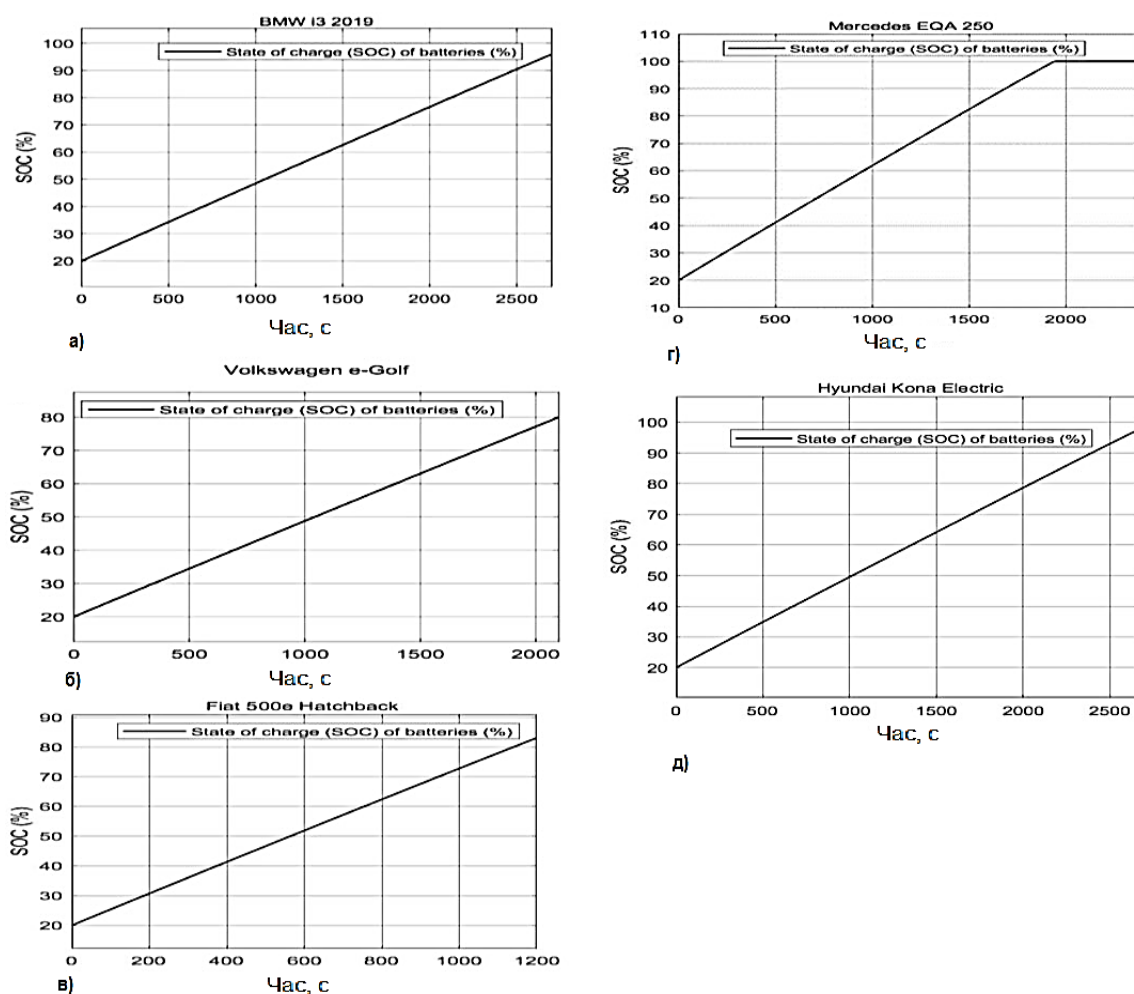


Рисунок 3.9 - Час заряджання:

- а) для BMW i3 2019 року
- б) для Volkswagen e-Golf
- в) для Fiat 500e Hatchback
- г) для Mercedes EQA 250
- д) для Hyundai Kona Electric

Для Hyundai Kona Electric час заряджання з 20 до 80% СЗ становить 33-34 хв, а еталонний час заряджання Hyundai Kona Electric з 10 до 80% СЗ становить 44 хв згідно з базою даних електромобілів [37]. При постійному опроміненні 1000 Вт/м^2 , постійній температурі 25°C та вхідній потужності фотоелектричної установки 76940 Вт , що показано на рисунку 3.9,д.

У таблиці 3.3 узагальнено результати часу заряджання для кожної моделі електромобіля від 20 до 80 відсотків стану заряду та порівняння його з часом заряджання від 10 до 80 відсотків СЗ згідно з базою даних електромобілів [37].

Використовуючи програмне забезпечення MATLAB, ми розрахували час заряджання від фотоелектричної системи з постійною потужністю випромінювання 1000 Вт/м^2 і постійною температурою 25°C .

Таблиця 3.3 - Результати часової зарядки для кожної моделі електромобіля

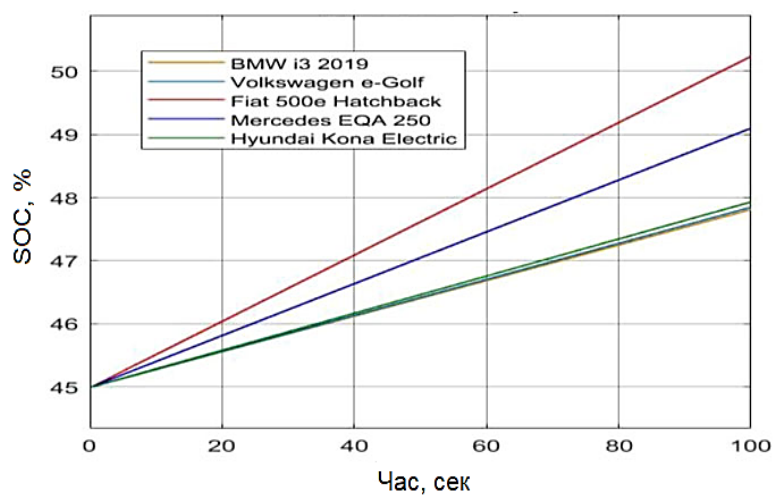
Навантаження (EVs)	Реальний час заряджання від 20 до 80% СЗ від моделювання	Час заряджання від 10 до 80% СЗ з бази даних електромобілів [37]
BMW i3 2019	35-36 хв	36
Volkswagen e-Golf	35 хв	36
Fiat 500e Hatchback	19-20 хв	24
Mercedes EQA 250	24-25 хв	29
Hyundai Kona Electric	33-34 хв	44

З результатів часу заряджання видно, наскільки ефективною та швидкою була автономна фотоелектрична система з алгоритмом MPPT у досягненні швидкого заряджання електромобілів, що є серйозною економією та ефективністю, оскільки вона покладалася на акумулятор електромобіля як на навантаження і не заряджала зовнішні акумулятори, що забезпечує кращу ефективність та менші втрати енергії.

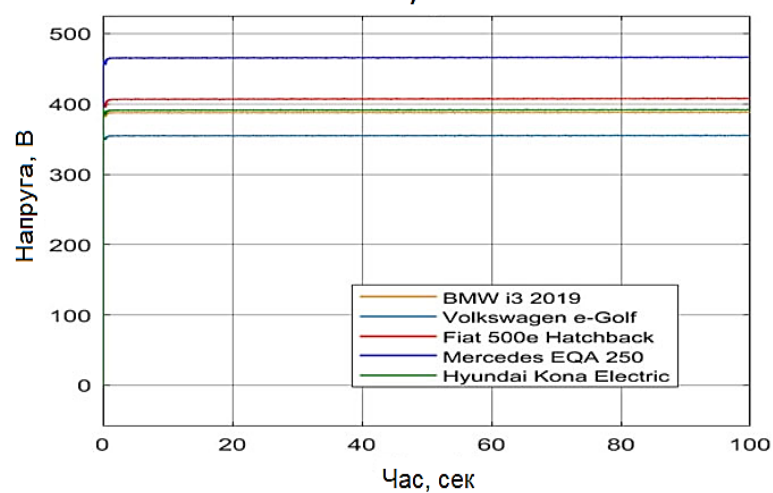
3.4 Результати моделювання рівнів напруги та струму

Для результатів моделювання для BMW i3 2019 року рівень напруги становить 380 В, а рівень струму - 120 А. Стан заряду становить 45% і протягом 100 с при постійному опроміненні становить 1000 Вт/м^2 , постійній температурі

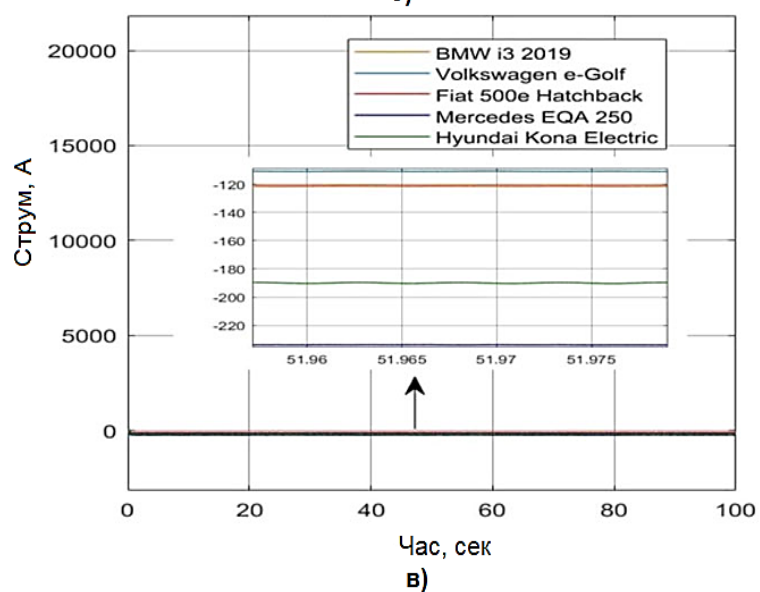
25°C, а вхідна потужність фотоелектричної системи становить 48270 Вт, що показано на рисунку 3.10.



а)



б)



в)

Рисунок 3.10 - Зарядка для моделей електромобілів. а) СЗ від 45% за 100 с, б) напруга, в) струм

Для результатів моделювання для Volkswagen e-Golf рівень напруги становить 354 В, а рівень струму - 110 А. Стан заряду становить 45%, а протягом 100 с при постійному опроміненні - 1000 Вт/м². Постійна температура становить 25°C, а вхідна потужність ФЕ - 40230 Вт, що показано на рисунку 3.10. Для результатів моделювання для Fiat 500e Hatchback рівень напруги становить 407 В, а рівень струму - 127 А. СЗ становить 45% і протягом 100 с при постійному опроміненні 1000 Вт/м², постійній температурі 25°C і вхідній потужності фотоелектричної установки 50370 Вт, що показано на рисунку 3.10. Для результатів моделювання для Mercedes EQA 250 рівень напруги становить 466 В, а рівень струму - 240 А. СЗ становить 45% і протягом 100 с при постійній освітленості 1000 Вт/м² і постійній температурі 25°C, а вхідна потужність ФЕ становить 112600 Вт, що показано на рисунку 3.10. Для результатів моделювання для Hyundai Kona Electric рівень напруги становить 391 В, а рівень струму - 190 А. СЗ становить 45% і протягом 100 с при постійному освітленні 1000 Вт/м², постійній температурі 25°C і вхідній потужності фотоелектричних перетворювачів 76940 Вт, що показано на рисунку 3.10.

3.5 Висновки до розділу

1. Для дослідження характеристик спроектованої схеми інвертора було використано імітаційну модель фотоелектричної системи в MATLAB, в якій використано контролер P&O MPPT.

2. Проведено імітаційне моделювання вхідної та вихідної потужності MPPT-контролера та його ефективність, час заряджання, а також характеристики рівнів напруги та струму для 5 моделей електромобілів: BMW i3 2019, Volkswagen e-Golf, Fiat 500e Hatchback, Mercedes EQA 250, Hyundai Kona Electric. Всі моделі EV тестувалися при змінному опроміненні, яке змінювалося від 600 Вт/м² до 1000 Вт/м², а також при змінній температурі від 20°C до 30°C.

3. З результатів імітаційного моделювання випливає, що застосування методу МРРТ до сонячної системи дозволяє досягти високої ефективності для зарядки електромобілів, оскільки результати для будь-якої системи були не менше 96%.

4. Зазначені моделі електромобілів також використані для тестування часу зарядки починаючи із початкового заряду акумулятора 20%.

5. З результатів моделювання часу заряджання видно, наскільки ефективною та швидкою була автономна фотоелектрична система з алгоритмом МРРТ у досягненні швидкого заряджання електромобілів, що підтверджує її ефективність оскільки вона використовує в якості накопичувача акумулятор електромобіля і не заряджала зовнішні акумулятори, що забезпечило менші втрати енергії.

6. Результати показали, що час заряджання для п'яти типів електромобілів є близьким до часу згідно з технічними характеристиками даних електромобілів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Причини електротравм, напруга кроку

Як і при інших видах травм, при електротравмах виділяють технічні, організаційно-технічні, організаційні і організаційно-соціальні їх причини [40].

До технічних причин належать: недосконалість конструкції електроустановки і засобів захисту, допущені недоліки при виготовленні, монтажі і ремонті електроустановки.

До основних організаційних причин електротравм належать:

- відсутність (непризначення наказом) на підприємстві особи, відповідальної за електрогосподарство або невідповідність кваліфікації цієї особи чинним вимогам;
- недостатня укомплектованість електротехнічної служби працівниками відповідної кваліфікації;
- відсутність на підприємстві посадових інструкцій для електротехнічного персоналу та інструкцій із безпечного обслуговування та експлуатації електроустановок;
- недостатня підготовленість персоналу з питань електробезпеки, несвоєчасна перевірка знань, невідповідність групи з електробезпеки персоналу характеру робіт, що виконуються;
- недотримання вимог щодо безпечного виконання робіт в електроустановках за нарядами-допусками, розпорядженнями та в порядку поточної експлуатації;
- неефективний нагляд, відомчий і громадський контроль за дотриманням вимог безпеки при виконанні робіт в електроустановках та їх експлуатації.

До основних організаційно-соціальних причин електротравм належать: змушене виконання не за спеціальністю електробезпечних робіт; негативне

ставлення до виконуваної роботи, обумовлене соціальними чинниками; залучення працівників до понадурочних робіт; порушення виробничої дисципліни; залучення до роботи осіб віком до 18 років.

При переміщенні людини в зоні розтікання струму в землі її ноги будуть торкатися ділянок землі з різними потенціалами, а на людину буде діяти напруга, яка визначається різницею цих потенціалів і відома під назвою *напруга кроку* - різниця потенціалів між двома точками на поверхні землі в зоні розтікання струму, які знаходяться на відстані кроку (0,8 м) одна від одної. З наближенням до місця замикання на землю величина напруги кроку буде зростати, і вона може досягти небезпечних для людини значень вже при напрузі електроустановок 0.4 кВ, а в сиру погоду та за зволоженого ґрунту і при меншій напрузі. Тому Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів при наявності замикання на землю забороняють наближатися до місця замикання ближче 8 м поза приміщенням і 4 м в приміщенні без застосування засобів захисту - діелектричні боти, галоші, суха дошка, сухе гумове взуття тощо.

У цілому, заходи захисту людини від дії напруги кроку зводяться до розірвання мережі струму через людину по петлі "нога-нога", або різкого збільшення опору в цій петлі за рахунок використання різних підручних засобів. За необхідності невідкладного входу в зону небезпечних напруг кроку для надання допомоги потерпілим і т.ін. і відсутності під рукою засобів захисту, доцільно переміщуватися в цій зоні обережно, пересуваючи ступні по землі так, щоб вони постійно торкались одна другої.

4.2 Фізичні основи електробезпеки

Величина струму, що проходить через тіло людини при її попаданні під напругу, в найбільшій мірі визначає тяжкість ураження. Для розробки технічних і організаційно-технічних заходів і засобів профілактики електротравм важливо знати, від яких конструктивних особливостей

електроустановок, їх робочих параметрів і стану залежить можлива величина струму через людину при потраплянні під напругу. Крім того, важливо, щоб весь електротехнічний персонал, усі працівники, робота яких пов'язана з експлуатацією електроустановок, чітко розуміли, чим обумовлена, що є причиною тієї чи іншої вимоги з електробезпеки. Таке знання, розуміння вимог чинних нормативів з електробезпеки сприятиме дотриманню їх працівниками, і якраз розуміння цих вимог відрізняє працівників п'ятої групи з електробезпеки від четвертої, і є обов'язковою складовою їх професійної підготовки з питань безпеки [40].

У реальній електричній мережі (повітряній чи кабельній) опір ізоляції проводів відносно землі розподіляється по всій довжині мережі — опорні, підвісні, натяжні ізолятори, ізоляція кабелю. Чим більша протяжність мережі, тим більше ізоляторів, які працюють паралельно, і менший загальний опір ізоляції проводів відносно землі. Необхідний опір ізоляції регламентується чинними нормативами. На практиці ізоляція струмопроводів виконується з реальних діелектриків, питомий опір яких не дорівнює нескінченності. Внаслідок старіння ізоляції, її частого зволоження, забруднення, нагріву, дії агресивного середовища тощо, питомий опір ізоляції знижується. Тому кожна ділянка довжини проводу має опір ізоляції певного значення або провідність, яка відрізняється від нуля, а при роботі реальної мережі мають місце постійні втрати струму (виток струму) через ізоляцію і землю. Таким чином, незважаючи на наявність ізоляції, струмпроводи електромережі електрично зв'язані між собою і землею провідниками (ізоляцію) з великим опором.

Відповідно до зазначеного вище, кожна ділянка довжини проводу електромережі, що знаходиться під напругою, крім опору ізоляції має певну ємність відносно землі. Тому при дотику людини до неізольованої струмовідної частини (проводу тощо) функціонуючої електромережі струм через людину обумовлюється величиною напруги дотику і ємністю зазначеної вище системи. Ємнісна складова струму через людину при потраплянні під напругу в розгалужених мережах може досягати небезпечних для людини значень. Тому

навіть при відключенні мережі від джерела живлення для ремонтно-профілактичних робіт тощо, необхідно заземлити кожен провід переносним заземленням і тільки після цього та перевірки відсутності напруги допускати персонал до роботи.

4.3 Підвищення стійкості роботи об'єктів енергетики у воєнний час

На основі всебічного аналізу факторів, що впливають на стійкість роботи об'єктів енергетики, робляться висновки про ймовірність виникнення аварій, стихійних лих, терористичних актів та їх впливу на виробничу діяльність і визначаються основні напрямки (шляхи) підвищення стійкості функціонування об'єктів енергетики в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу [41]:

1. Забезпечення надійного захисту робітників та службовців від впливу вражаючих факторів аварій, катастроф, стихійних лих і засобів ураження
2. Захист основних виробничих фондів від впливу вражаючих факторів аварій, катастроф, стихійних лих та засобів ураження, в тому числі і від вторинних вражаючих факторів;
3. Забезпечення стабільності і безперервності управління виробництвом та ЦЗ;
4. Забезпечення надійності постачання об'єкта енергоносіями.

Для надійного функціонування об'єктів енергетики в надзвичайних ситуаціях завчасно організовуються і проводяться заходи, спрямовані на підвищення стійкості їх роботи. До них відносяться:

1. Інженерно-технічні заходи (ІТЗ).
2. Технологічні заходи.
3. Організаційні заходи.

Інженерно-технічні заходи - заходи, спрямовані на забезпечення підвищення стійкості будівель, споруд, обладнання, енергетичних систем до впливу НС.

Технологічні заходи - заходи, спрямовані на здійснення підвищення стійкості шляхом зміни технологічного режиму, що виключає виникнення вторинних факторів ураження.

Організаційні заходи - заходи, спрямовані на завчасну розробку і планування дій керівного складу, особового складу, штабу ЦЗ, служб, невоєнізованих формувань об'єктів енергетики в умовах надзвичайних ситуацій.

Основними напрямками підвищення стійкості функціонування є наступне:

- забезпечення захисту населення і його життєдіяльності;
- раціональне розміщення виробничих сил та потужностей на території об'єкта енергетики, регіону;
- підготовка до роботи в умовах НС мирного та воєнного часу;
- підготовка до виконання робіт по відновленню об'єктів в умовах НС;
- підготовка системи управління.

Всі ці заходи повинні забезпечити максимально можливе зниження втрат і руйнувань та зменшити можливість виникнення повторних зон зараження при впливі РР, ОР та НХР. Зміст таких заходів, виходячи з галузевих і інших нормативних документів, конкретизується для кожної територіальної ланки..

Ми знаємо, що електропостачання є основою всякого виробництва. Для забезпечення надійного електропостачання в НС при його проектуванні та будівництві повинні бути враховані наступні основні вимоги, що впливають із завдань цивільного захисту:

1. Електропостачання повинно здійснюватися від енергосистем, до складу яких входять електростанції, що працюють на різних видах палива.
2. Великі електростанції слід розміщувати одну від одної і від великих міст на значних відстанях.

3. Районні понижуючі підстанції, диспетчерські пункти енергосистем та лінії електропередач необхідно розміщувати розсереджено і надійно захищати.

4. Постачання електроенергією великих міст слід передбачати від двох незалежних джерел.

Крім того, необхідно створювати автономні резервні джерела електропостачання. Для цього можна використовувати рухливі електростанції на залізничних платформах, малопотужні електростанції, не включені до енергосистеми. Система електропостачання повинна мати грозозахисту систему та захист від впливу електромагнітного імпульсу ядерного вибуху.

Енергетичні споруди та електричні мережі повинні проектуватися з урахуванням забезпечення стійкого електропостачання категорійних міст і об'єктів. Схема електричних мереж енергосистем при необхідності повинна передбачати можливість автоматичного розподілу енергосистеми на збалансовані, незалежно працюючі частини. При проектуванні енергетичних систем і їхнього об'єднання теплові (конденсаційні) електростанції слід розміщати поза зонами можливого катастрофічного затоплення. У категорійних містах припускається розміщення тільки теплоелектроцентралей незалежно від їхньої встановленої потужності з максимальним віддаленням їх від центрів житлової і промислової забудов. Нові атомні електростанції та атомні теплоелектроцентралі повинні розміщатися з урахуванням їх впливу на навколишнє середовище і радіаційну безпеку населення. На існуючих та на тих, що проектуються і будуються атомних станціях, передбачається створення систем автоматизованого контролю за радіаційною обстановкою на території станції і в зоні спостереження цих станцій, оповіщення та інформаційного забезпечення обслуговуючого персоналу і населення про радіаційну небезпеку, а також захищених пунктів керування протиаварійними діями на території станції і в пристанційних селищах.

При проектуванні схем зовнішнього електропостачання категорійних міст необхідно передбачати їхнє електропостачання від декількох незалежних та

територіально рознесених джерел живлення (електростанції і підстанції), частина з яких повинна розташовуватися за межами зон можливих руйнувань. При цьому зазначені джерела і їхні лінії електропередачі повинні, як правило, знаходитися на відстані одне від одного, що виключає можливість їхнього одночасного виходу з ладу. Системи електропостачання категорійних міст повинні враховувати можливість забезпечення транзиту електроенергії в обхід зруйнованих об'єктів за рахунок спорудження коротких перемичок повітряними лініями електропередачі. Нові лінії електропередачі, що живлять особливо важливих споживачів, слід проектувати в кабельному виконанні. Для забезпечення можливості зниження електричного навантаження в категорійних містах системи електропостачання об'єктів, які не відключаються у воєнний час, повинні бути відділені від систем електропостачання інших об'єктів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано публікації авторів за темою кваліфікаційної роботи та проведено огляд та сучасний стан фотоелектричної інфраструктури для зарядки електромобілів.
2. Встановлено, що фотоелектричні установки для зарядки електромобілів можуть бути «навісами для паркування», де фотоелектричні панелі встановлюються на спеціальних навісах, або ж на дахах будівель. Зарядні станції на фотоелектричних панелях можуть працювати в режимі підключення до електромережі або в автономному режимі.
3. Запропоновано конструкцію автономної зарядної станції, яка розрахована на одночасну зарядку 5 електромобілів. Підвищувальний перетворювач постійного струму підключає фотоелектричну систему до шини постійного струму 400 В. Ізольований двонаправлений DC-DC перетворювач з активним і пасивним снаббером забезпечує передачу енергії між фотоелектричною системою і акумулятором автомобіля.
4. Фотоелектрична система, яка складається з двох фотоелектричних полів потужністю 50 кВт кожне, є основним джерелом енергії для автономної системи постійного струму, що забезпечує загальну потужність 100 кВт.
5. Проведено імітаційне моделювання вхідної та вихідної потужності MPPT-контролера та його ефективність, час заряджання, а також характеристики рівнів напруги та струму для 5 моделей електромобілів: BMW i3 2019, Volkswagen e-Golf, Fiat 500e Hatchback, Mercedes EQA 250, Hyundai Kona Electric.
6. З результатів імітаційного моделювання випливає, що застосування методу MPPT до сонячної системи дозволяє досягти високої

ефективності для зарядки електромобілів, оскільки результати для будь-якої системи були не менше 96%

7. З результатів моделювання часу заряджання видно, наскільки ефективною та швидкою була автономна фотоелектрична система з алгоритмом MPPT у досягненні швидкого заряджання електромобілів, що підтверджує її ефективність оскільки вона використовує в якості накопичувача акумулятор електромобіля і не заряджала зовнішні акумулятори, що забезпечило менші втрати енергії.
8. Результати показали, що час заряджання для п'яти типів електромобілів є близьким до часу згідно з технічними характеристиками даних електромобілів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Перспективи розвитку електроенергетики і роль відновлювальних джерел енергії// Невідомський М.В.; Копит М.Б.; Якимчук П.М.; Горлачук М.А.; Войтович І.А./Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11–12 груд. 2024.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: 2024. Т. 2. – 17-18
2. Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 51 с.
3. Коваль В. П. Суміщене електропостачання від поновлювальних джерел енергії / Вадим Коваль // Матеріали IV Міжнародної науково технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп’ютерних технологій— присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця, 20-21 червня 2019 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2019. — С. 294.
4. Філюк Я. О. Автономне живлення зовнішнього освітлення з використанням світлодіодних джерел світла / Ярослав Філюк, Вадим Коваль // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», 19–21 травня 2015 року — Т. : ТНТУ, 2015 — С. 191-192.
5. Коваль В. П. Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей / В. П. Коваль, Р. Р. Івасечко, К. М. Козак // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2015. – № 3. – С. 2-10
6. Bohdan Orobchuk, Ivan Sysak, Oleh Buniak, Serhii Babiuk, Vadym Koval (2023) Development of the reactive power compensation laboratory bench and its integration into the training simulator of dispatch control system. The 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2023 (ITTAP 2023). Ternopil, Ukraine, November 22-24, 2023,

Vol. 3628, Pages 574-585.

7. Герега С. Збільшення ефективності використання сонячних панелей / Степан Герега, Вадим Коваль, Ярослав Філюк // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування“, 8-9 червня 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 202.
8. Vadym Koval, Bogdan Orobchuk, Nataliia Kuzemko, Gao Lijin. Measuring device for photovoltaic modules electrical characteristics testing // Proceedings of the International Conference „Advanced applied energy and information technologies 2021“, 2021
9. Bohdan Orobchuk, Oleh Buniak, Ivan Sysak, Serhii Babiuk, Ihor Bodnarchuk, Vadym Koval (2024) Development of Software for the Implementation of Automated Reserve Input Modes Operation. 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). Ternopil, Ukraine, June 12-14, Vol. 3742, Pages 316-336
10. Коваль В. Залежність енергоефективності сонячних елементів від експлуатаційних факторів / В. Коваль // Збірник тез доповідей XVII наукової конференції ТНТУ ім. Івана Пулюя, 20-21 листопада 2013 року. — Т. : ТНТУ, 2013. — Том I : Природничі науки та інформаційні технології. — С. 53
11. Коваль В. П. Енергоефективність системи позиціонування фотоелектричних батарей / В. П. Коваль, Р. Р. Івасечко, Ю. О. Пилипчук // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 16-17 листопада 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — Том 3. — С. 139.
12. Левчук П. П. Зарядка електричних транспортних засобів на основі безпроводної передачі енергії / П. П. Левчук, В. П. Коваль // Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — Том 2. — С. 117. —

(Електротехніка та енергозбереження).

- 13.Малушенко А.С. Перспектива зарядки електромобілів від відновлювальних джерел енергії // А. С. Малушенко; М.Б. Горват; В. П. Коваль / Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. – С. 225.
- 14.Prem, P., Sivaraman, P., Sakthi Suriya Raj, J. S., Jagabar Sathik, M., & Almakhles, D. (2020). Fast charging converter and control algorithm for solar PV battery and electrical grid integrated electric vehicle charging station. *Automatika: časopis za automatiku, mjerenje, elektroniku, računarstvo i komunikacije*, 61(4), 614-625.
- 15.Killi, M., & Samanta, S. (2015). Modified perturb and observe MPPT algorithm for drift avoidance in photovoltaic systems. *IEEE transactions on Industrial Electronics*, 62(9), 5549-5559.
- 16.Shariff, S. M., Iqbal, D., Alam, M. S., & Ahmad, F. (2019, October). A state of the art review of electric vehicle to grid (V2G) technology. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 561, No. 1, p. 012103). IOP Publishing.
- 17.Wang, D., Sechilariu, M., & Locment, F. (2020). PV-powered charging station for electric vehicles: Power management with integrated V2G. *Applied Sciences*, 10(18), 6500.
- 18.Ghotge, R., van Wijk, A., & Lukszo, Z. (2021). Off-grid solar charging of electric vehicles at long-term parking locations. *Energy*, 227, 120356.
- 19.Singh, A., & Shimi, S. L. (2017, December). MATLAB/SIMULINK simulation of PV system based on MPPT in variable irradiance with EV battery as load. In *2017 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC)* (pp. 1-4). IEEE.
- 20.Керея Ю.Б. Роль системи накопичення енергії у електроенергетичній системі //Ю.Б.Керея, В.П.Коваль /Актуальні задачі сучасних технологій :

- зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 груд. 2022.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 68.
21. International Energy Agency, "Global EV Outlook 2020", pages 276, France: Typeset in France by IEA, June 2020, p. pages 276
22. Коваль В.П. Фотоелектрична станція для забезпечення власних потреб // В.П. Коваль, Д.Ф.Паловці, Abul Kalam Azad / Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції, (Тернопіль, 29-31 травня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. – С .
23. Герега С. Збільшення ефективності використання сонячних панелей / Степан Герега, Вадим Коваль, Ярослав Філюк // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування—, 8-9 червня 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 202
24. Іме А.Н. Підвищення ефективності сонячних панелей шляхом використання водяного охолодження/Аях Нсікак Іме, В.П. Коваль//Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій —, 25-26 листопада 2020 року.—Т.: ТНТУ, 2020.—Том 2.— С. 80–81
25. Measuring device for photovoltaic modules electrical characteristics testing / Vadym Koval, Bogdan Orobchuk, Nataliia Kuzemko, Gao Lijin // ICAAEIT 2021, 15-17 December 2021. — Tern.: TNTU, Zhytomyr «Publishing house „Book-Druk“» LLC, 2021. — P. 14–19. — (Electrical engineering and power electronics)
26. Коваль В.П. Вплив ємності акумулятора на ефективність роботи фотоелектричної станції//В.П.Коваль / Інноваційні технології в

- світлотехніці та електроенергетиці : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 16–17 трав. 2024 р. / Нац. акад. наук вищ. освіти України, Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Нац. наук. центр «Ін-т метрології» [та ін.]. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – С. 75-77.
27. Енергоощадна інтелектуальна система керування механічною системою / Богдан Оробчук, Іван Сисак, Ярослав Осадца, Вадим Коваль, Сергій Бабюк // МММТЕС, 22-23 листопада 2022 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2022. — С. 128–130. — (Прикладні застосування механіки в задачах енергозбереження)
28. Стельмах С.С. Енергоефективність гідроакумуючих установок малої потужності // С.С.Стельмах, В.П.Коваль /Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 груд. 2022.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 71.
29. Vadym Koval, Serhii Martsenko, Myroslav Zin (2023). Designing and Implementing Intelligent Lighting Control System. The 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). Ternopil, Ukraine, June 14-16, Vol. 3468, Pages 241-249.
30. Beam, EV ARC™ 2020, Sustainable EV charging in minutes not months, <https://beamforall.com/product/evarc2020/>
31. MDT-tex, Smart city solutions, https://www.mdttex.com/fileadmin/user_upload/media/Solar_Unterlagen/SmartSolarShelter/181012_MDT_Smart_city_presentation_V3_small.pdf
32. F. Lambert, Tesla opens new V3 Supercharger with solar and battery – looks like EV charging station of the future, <https://electrek.co/2018/08/10/tesla-supercharger-cover-99-us-population-within-150-miles/>
33. Коваль В.П. Автоматизована вимірвальна установка для дослідження електричних характеристик фотоелектричних модулів / В.П. Коваль, Б.Я.

- Оробчук, Я.М. Осадца, Л.М. Костик // Вісник Хмельницького національного університету – 2022. - №5. – С.168–173
- 34.Kadeval, H. N., & Patel, V. K. (2021). Mathematical modelling for solar cell, panel and array for photovoltaic system. *Journal of Applied and Natural Science*, 13(3), 937-943.
- 35.Putri, R. I., Rifa'i, M., & Adhisuwignjo, S. (2015). Design of buck converter for photovoltaic system Applications. *Applied Electromagnetic Technology (AEMT)*, 51-54.
- 36.Battery Cell Comparison <https://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html>
- 37.Compare electric vehicles EV Database (2022). Electric vehicle database. <https://ev-database.org/>
- 38.Коваль, В., Оробчук, Б., Буняк, О., & Гетманюк, В. (2024). Робота фотоелектричної станції на основі гібридного інвертора з різною ємністю системи накопичення електроенергії. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 343(6(1), 208-214.
- 39.Понтус О.В. Особливості проектування та введення в експлуатацію промислової сонячної електростанції // О.В. Понтус, Р.А. Карпишин, В.П.Коваль / Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції, (Тернопіль, 29-31 травня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. – С 19-21.
- 40.Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник/ В.Ц.Жидецький, В.С Джигирей, О.В.Мельников. – Вид. 5-те, доповнене. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.
- 41.Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.