

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної
та транспортної інфраструктури

Кафедра альтернативної електроенергетики та електротехніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до

бакалаврської кваліфікаційної роботи

на тему:

«Дослідження роботи гібридної швидкісної зарядної станції електромобілів»

Студент:

Юрій МАРУШКА

студент 4 курсу

гр. НВДЕ 2022-1



Керівник: к.т.н. доц.

Іван КОСТЕНКО



Рецензент: к.т.н. доц.

Яна ФОРКУН



Харків – 2026

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
імені О. М. Бекетова

Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної
інфраструктури

Кафедра альтернативної електроенергетики та електротехніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

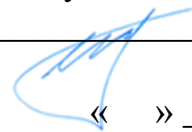
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри АЕЕ

канд.техн.наук., доцент Олексій ЄГОРОВ



« » _____ 2026
р.

З А В Д А Н Н Я
до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Марушка Юрій Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1.Тема: Дослідження роботи гібридної швидкісної зарядної станції
електромобілів

керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи:

Костенко Іван Олександрович, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом університету від «22 » травня 2026 р. №440-03

2. Строк подання студентом роботи 14.06.26

3. Схема гібридної швидкісної зарядної станції електромобілів.

4. Зміст бакалаврської кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно
розробити):

4.1 Комплексне використання енергії відновлюваних джерел, огляд,
різновиди.

4.2. Технічна частина (вибір параметрів, розробка конструкції, структурної та
електричної принципової схем, створення алгоритмів роботи тощо)

Структура гібридної зарядної станції. Фотоелектрична система, накопичувач
енергії, мережевий інвертор та система керування. Алгоритм МРРТ.

4.3. Розрахункова частина (розрахунок вузлів, метод розрахунку, алгоритм
керування, програмне забезпечення

Розрахунок енергетичного балансу зарядної станції. Визначення параметрів фотоелектричної системи, накопичувача енергії та DC-шини. Моделювання роботи системи в MATLAB/Simulink.

4.4. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових слайдів)

Структурна схема гібридної швидкісної зарядної станції;

Функціональна схема системи керування;

Результати моделювання роботи системи.

6. Консультанти розділів бакалаврської кваліфікаційної роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Костенко І.О., доц., к.т.н.		
Охорона праці	Серіков Я.О. доц.,к.т.н		

7. Дата видачі завдання: 25.05.26

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Стан питання	25.05-28.05.26	
2.	Технічна частина	29.05-30.05.26.	
3	Розрахункова частина	31.05-02.06.26	
4.	Охорона праці	03.06-7.06.26	
5.	Оформлення паперового та електронного варіантів роботи	8.06-10.06.26	
6.	Підготовка доповіді та презентації	11.06-14.06.26	

Студент



Юрій МАРУШКА

Керівник



Іван КОСТЕНКО

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему «Дослідження роботи гібридної швидкісної зарядної станції електромобілів» містить пояснювальну записку обсягом 55 сторінки.

У розділі «Стан питання» проаналізовано розвиток зарядної інфраструктури електромобілів, структуру гібридної швидкісної зарядної станції та основні топології силових електронних перетворювачів.

У технічній частині розглянуто архітектуру зарядної станції, принципи роботи фотоелектричної системи, акумуляторного накопичувача, мережевого інвертора та алгоритму MPPT.

У розрахунковій частині виконано аналіз енергетичного балансу системи, визначено основні параметри силової частини та досліджено режими роботи зарядної станції за результатами математичного моделювання.

У розділі «Охорона праці» розглянуто небезпечні виробничі фактори та розроблено заходи щодо забезпечення електробезпеки, вентиляції робочої зони та безпечних умов праці. Бакалаврська кваліфікаційна робота містить:

формул.....	4
рисунків.....	19
таблиць.....	4
графічних робіт	8

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 СТАН ПИТАННЯ.....	9
1.1 Сучасний стан розвитку зарядної інфраструктури електромобілів ...	9
1.2 Структура гібридної швидкісної зарядної станції	13
1.3 Основні функціональні блоки гібридної зарядної станції	15
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	18
2.1 Аналіз основних топологій силових перетворювачів	18
2.1.1 Interleaved Boost PFC.....	18
2.1.2 Vienna Rectifier.....	19
2.1.3 Totem-Pole PFC.....	20
2.1.4 Dual Active Bridge (DAB).....	22
2.2 Сучасна зарядна інфраструктура	24
2.3 Архітектура системи зарядної станції електромобілів	26
2.4 Структура силової частини гібридної швидкісної зарядної станції.....	27
2.5 Буферний накопичувач енергії.....	29
3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	30
3.1 Результати моделювання. Вхідні параметри.	30
3.2 Робота фотоелектричної системи при зміні сонячної інсоляції	31
3.3 Гібридний алгоритм MPPT.....	32
3.4 Робота акумуляторного накопичувача та стабілізація напруги DC- шини.....	34
3.5 Робота мережевого інвертора.....	34
3.6 Аналіз струмів мережі та режимів роботи мережевого інвертора.....	36
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	39
4.1 Завдання в галузі охорони праці	39
4.2 Аналіз умов праці при монтажі електронної частини гібридної зарядної станції. Виявлення небезпечних і шкідливих виробничих факторів	42

4.3 Розробка організаційних заходів з охорони праці в лабораторії проблем НВДЕ.....	44
4.3.1 Забезпечення нормативного санітарно-гігієнічного складу повітря в робочій зоні виконання паяльних робіт електронної частини перетворювача. Проектування місцевої вентиляції на ділянці з монтажу	44
4.3.2 Забезпечення нормативних мікрокліматичних параметрів повітря робочої зони в лабораторії НВДЕ.....	47
4.3.3 Аналіз і забезпечення нормативного освітлення робочої зони приміщення лабораторії НВДЕ.....	49
4.4 Забезпечення електробезпеки в приміщенні, де проводиться монтаж електронної частини перетворювача	50
4.4.1 Загальні положення	50
4.4.2 Організаційно-технічні заходи забезпечення електробезпеки в приміщенні конструкторського бюро НВДЕ	51
4.5 Висновки до розділу «Охорона праці».....	52
ВИСНОВОК.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55

ВСТУП

Стрімкий розвиток електромобільного транспорту є однією з найважливіших тенденцій сучасної енергетики та транспортної галузі. Зростання кількості електромобілів обумовлене необхідністю зменшення споживання викопних видів палива, скорочення викидів парникових газів та підвищення енергоефективності транспортних систем. У зв'язку з цим особливого значення набуває розвиток зарядної інфраструктури, яка повинна забезпечувати швидке, надійне та економічно ефективне заряджання акумуляторних батарей електромобілів.

Одним із перспективних напрямків розвитку зарядної інфраструктури є впровадження гібридних швидкісних зарядних станцій, що поєднують традиційне живлення від електричної мережі з відновлюваними джерелами енергії та системами накопичення електроенергії. Використання фотоелектричних установок і акумуляторних накопичувачів дозволяє зменшити навантаження на електричну мережу, підвищити енергетичну незалежність зарядних комплексів та збільшити частку використання екологічно чистої енергії.

Водночас інтеграція відновлюваних джерел енергії до складу зарядних станцій супроводжується низкою технічних проблем, пов'язаних із нестабільністю сонячної генерації, необхідністю підтримання стабільної напруги на шині постійного струму, забезпеченням ефективного керування потоками енергії та оптимальним використанням систем накопичення енергії. Для вирішення цих завдань застосовуються сучасні силові електронні перетворювачі, системи керування та алгоритми відстеження точки максимальної потужності фотоелектричних модулів.

Актуальність теми бакалаврської кваліфікаційної роботи обумовлена необхідністю дослідження режимів роботи гібридних швидкісних зарядних станцій електромобілів, оцінки ефективності їх функціонування та визначення особливостей взаємодії між фотоелектричною системою, акумуляторним накопичувачем енергії та електричною мережею.

Метою роботи є дослідження роботи гібридної швидкісної зарядної станції електромобілів з інтегрованою фотоелектричною системою та акумуляторним накопичувачем енергії, а також аналіз режимів її функціонування за різних умов навантаження та генерації електроенергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан розвитку зарядної інфраструктури електромобілів;
- дослідити структуру та принцип роботи гібридної швидкісної зарядної станції;
- розглянути основні топології силових електронних перетворювачів, що використовуються в зарядних комплексах;
- дослідити принципи роботи фотоелектричної системи та алгоритмів MPPT;
- виконати розрахунок енергетичного балансу зарядної станції;
- проаналізувати режими роботи акумуляторного накопичувача та мережевого інвертора;
- дослідити роботу системи за допомогою математичного моделювання;
- розробити заходи з охорони праці під час монтажу та експлуатації обладнання зарядної станції.

Об'єктом дослідження є гібридна швидкісна зарядна станція електромобілів з фотоелектричною системою та акумуляторним накопичувачем енергії.

Предметом дослідження є режими роботи, процеси перетворення та розподілу електричної енергії в гібридній зарядній станції електромобілів.

У роботі використано методи аналізу електротехнічних систем, теорії силових електроніки, математичного моделювання та комп'ютерного моделювання в середовищі MATLAB/Simulink.

1 СТАН ПИТАННЯ

1.1 Сучасний стан розвитку зарядної інфраструктури електромобілів

Розвиток електромобільного транспорту в останні роки є одним із найважливіших напрямів модернізації транспортної та енергетичної галузей. Зростання світових цін на традиційні енергоносії, посилення екологічних вимог щодо скорочення викидів парникових газів, а також необхідність підвищення енергоефективності транспортних систем сприяють активному переходу від автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння до електромобілів. У зв'язку з цим значно зростає потреба у розвитку зарядної інфраструктури, яка є необхідною умовою ефективної експлуатації електротранспорту.

Зарядна інфраструктура являє собою сукупність технічних засобів, програмного забезпечення та енергетичних систем, які забезпечують процес передачі електричної енергії до акумуляторної батареї електромобіля. Ефективність функціонування електромобілів значною мірою залежить від доступності зарядних станцій, їх потужності, швидкості заряджання та рівня інтеграції з електроенергетичною системою.

Сучасна зарядна інфраструктура включає домашні, комерційні та громадські зарядні станції. Домашні зарядні станції зазвичай використовують змінний струм невеликої потужності та призначені для тривалого заряджання транспортних засобів у нічний час. Громадські та комерційні станції можуть використовувати як змінний, так і постійний струм значно більшої потужності.

Залежно від потужності та способу заряджання зарядні станції поділяються на декілька категорій (табл. 1).

Таблиця 1.1 – Потужності та спосіб заряджання зарядних станцій

Тип заряджання	Напруга	Потужність	Час заряджання
Повільне АС	220–380 В	3–7 кВт	6–12 год
Прискорене АС	380 В	11–22 кВт	3–5 год
Швидкісне DC	400–800 В	50–150 кВт	30–60 хв
Надшвидкісне DC	400–1000 В	150–350 кВт	10–30 хв

Найбільшого поширення в сучасних системах набувають швидкісні та надшвидкісні зарядні станції постійного струму. На відміну від зарядних пристроїв змінного струму, де перетворення електроенергії відбувається у вбудованому зарядному пристрої автомобіля, швидкісні зарядні станції виконують перетворення енергії безпосередньо у власній силовій частині, що дозволяє значно збільшити потужність заряджання.

Типова схема класифікації зарядних систем наведена на рисунку 1.1.

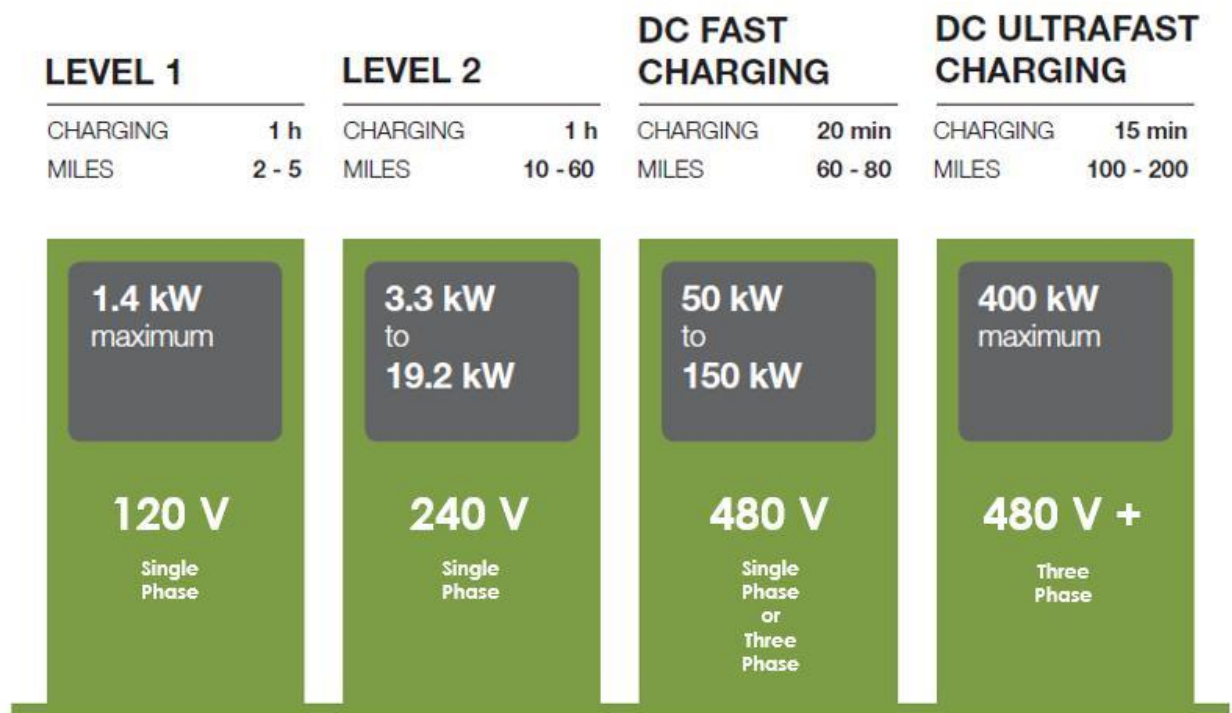


Рисунок 1.1 – Основні типи зарядних станцій електромобілів

Розвиток сучасних зарядних систем супроводжується появою різних міжнародних стандартів підключення. Найбільш поширеними є:

- Type 1 (SAE J1772);
- Type 2 (Mennekes);
- CCS (Combined Charging System);
- CHAdeMO;
- GB/T.

Європейські країни переважно використовують роз'єм Type 2 та систему CCS, яка підтримує як заряджання змінним струмом, так і швидкісне заряджання постійним струмом. Система CCS дозволяє працювати з потужностями понад 350 кВт.

У процесі роботи швидкісної зарядної станції значні потужності споживаються за короткий проміжок часу. Наприклад, зарядна станція потужністю 350 кВт може створювати навантаження, еквівалентне споживанню десятків житлових будинків. При одночасній роботі декількох зарядних пристроїв виникає значне навантаження на електричну мережу.

Для усунення даної проблеми все частіше використовуються гібридні зарядні станції, які поєднують:

- централізовану електромережу;
- фотоелектричні панелі;
- акумуляторні системи накопичення енергії;
- інтелектуальні системи керування потоками потужності.

Такі системи дозволяють накопичувати енергію у періоди низького навантаження та використовувати її під час швидкісного заряджання електромобілів (рис. 1.2).

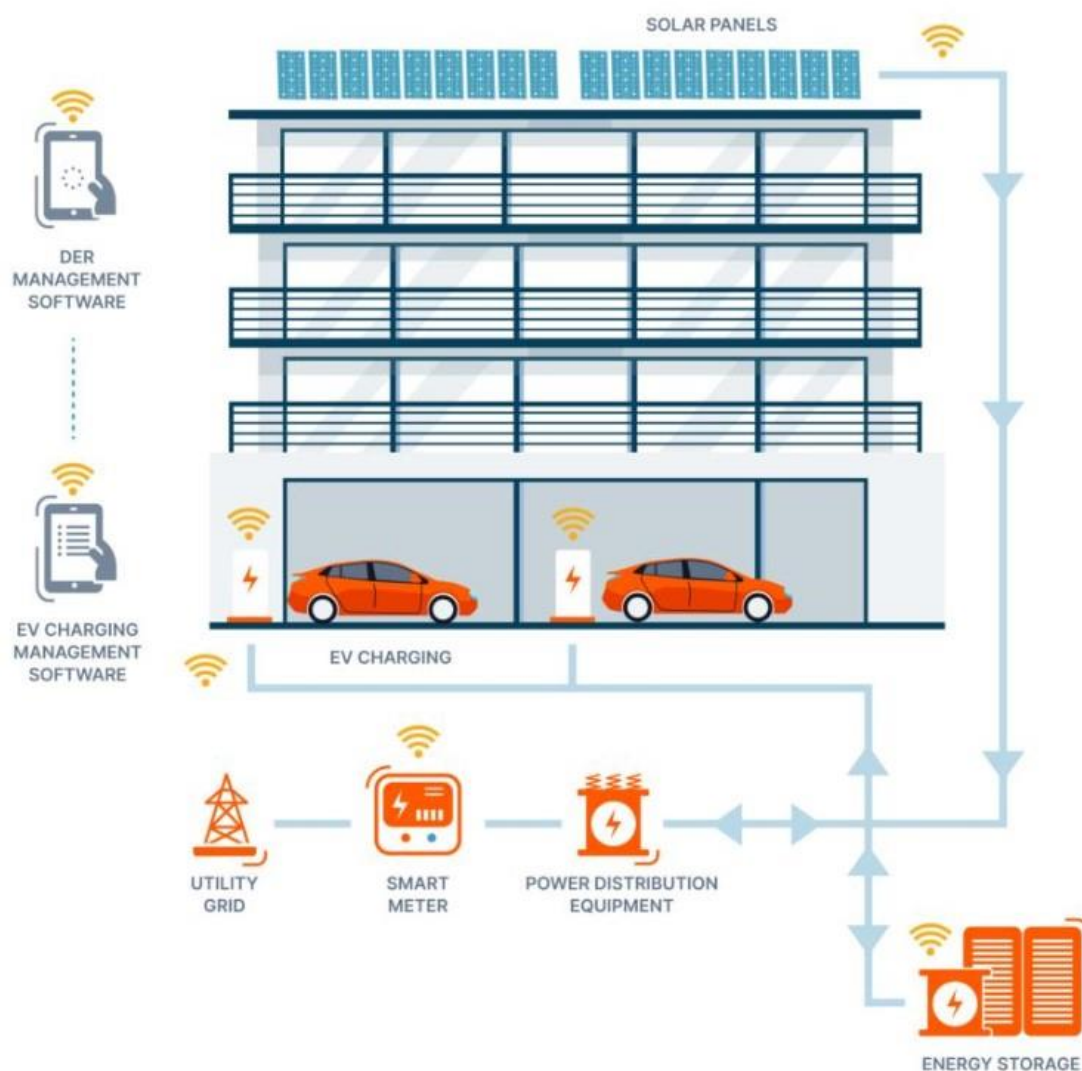


Рисунок 1.2 – Структурна схема гібридної зарядної станції

Важливою тенденцією сучасного розвитку зарядної інфраструктури є інтеграція відновлюваних джерел енергії та інтелектуальних енергетичних систем. Використання фотоелектричних станцій дозволяє частково компенсувати споживання електроенергії від мережі та знизити експлуатаційні витрати. У поєднанні із системами накопичення енергії це забезпечує зменшення пікових навантажень та підвищення стабільності роботи електромережі.

Крім того, перспективним напрямком є реалізація концепції двонаправленого обміну енергією **Vehicle-to-Grid (V2G)**, яка дозволяє використовувати акумуляторні батареї електромобілів як додаткові накопичувачі

енергії. За даною концепцією електромобіль може не лише споживати електроенергію, а й передавати її назад до мережі.

Основними проблемами сучасної зарядної інфраструктури залишаються:

- недостатня кількість швидкісних зарядних станцій;
- нерівномірне розташування зарядних пунктів;
- високі вимоги до потужності електромереж;
- значна вартість обладнання;
- необхідність підвищення енергоефективності силових перетворювачів.

Подальший розвиток зарядної інфраструктури пов'язаний із впровадженням гібридних енергетичних систем, інтелектуальних алгоритмів керування та сучасних напівпровідникових технологій на основі карбіду кремнію та нітриду галію, що дозволить забезпечити високу ефективність і надійність швидкісних зарядних станцій електромобілів.

1.2 Структура гібридної швидкісної зарядної станції

Гібридна швидкісна зарядна станція електромобілів являє собою комплексну енергетичну систему, яка поєднує декілька джерел електроенергії та систему інтелектуального керування потоками енергії. На відміну від традиційних зарядних станцій, що отримують електроенергію лише від централізованої мережі, гібридні системи використовують альтернативні джерела енергії та накопичувачі, що дозволяє зменшити навантаження на електромережу, підвищити енергоефективність системи та забезпечити стабільність роботи при змінних режимах навантаження.

Основною особливістю гібридної зарядної станції є наявність декількох джерел електроенергії, які можуть працювати незалежно або спільно залежно від режиму роботи системи.

До складу типової гібридної швидкісної зарядної станції входять:

- централізована електромережа;
- фотоелектричні модулі;

- система накопичення енергії;
- AC/DC перетворювач;
- DC/DC перетворювач;
- загальна DC-шина;
- зарядний модуль електромобіля;
- система керування потоками енергії.

Типову структуру системи наведено на рисунку 1.3.

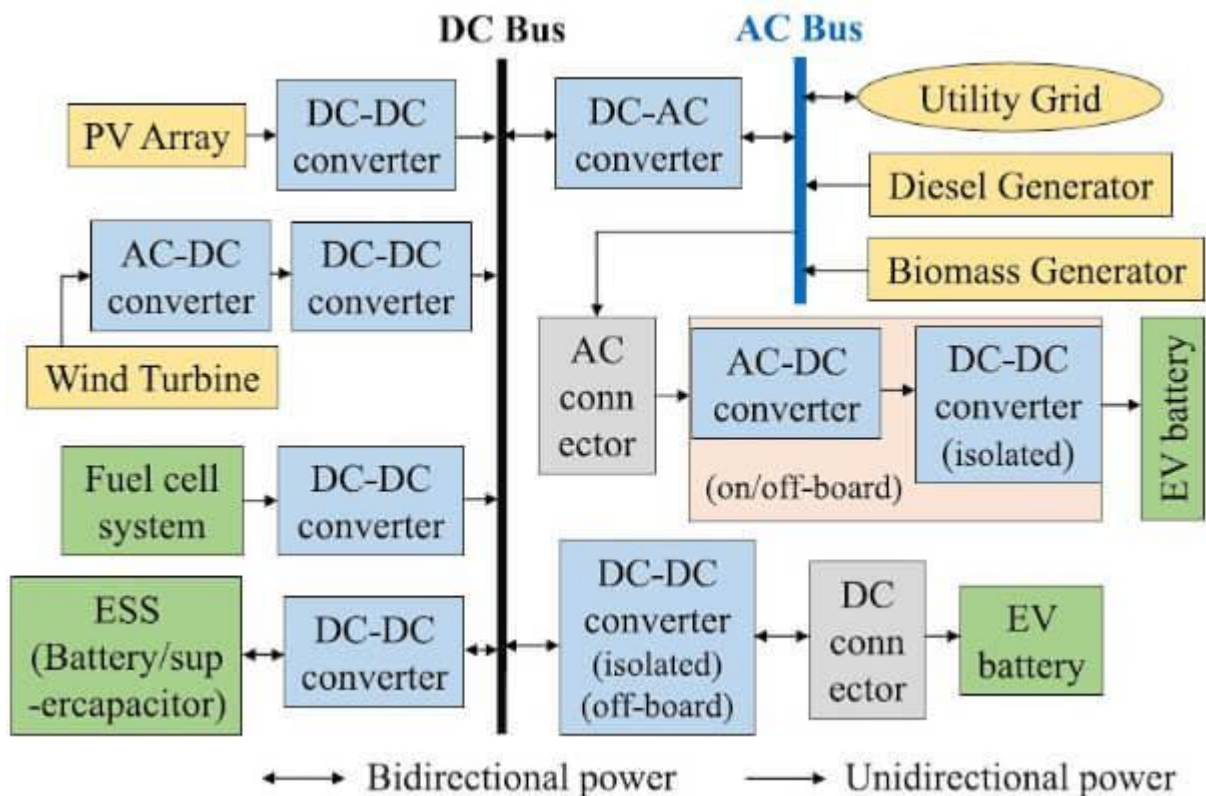


Рисунок 1.3 – Структурна схема гібридної швидкісної зарядної станції

У загальному випадку електрична енергія від зовнішньої мережі надходить до AC/DC-перетворювача, який виконує випрямлення змінної напруги та формування стабілізованої DC-шини. Одночасно фотоелектричні панелі через відповідний DC/DC-перетворювач можуть подавати енергію до цієї ж шини. Накопичувач енергії також підключається до DC-шини через двонаправлений DC/DC-перетворювач, що забезпечує можливість як заряджання накопичувача, так і передачі накопиченої енергії у навантаження.

Центральним елементом системи є шина постійного струму (DC-шина), яка забезпечує об'єднання різних джерел енергії та споживачів в єдину систему.

Використання DC-шини має ряд переваг:

- зменшення кількості етапів перетворення енергії;
- підвищення коефіцієнта корисної дії;
- спрощення інтеграції альтернативних джерел енергії;
- можливість підключення накопичувачів;
- зниження втрат енергії.

Для швидкісних зарядних станцій напруга DC-шини зазвичай знаходиться в межах:

- 400–450 В для систем малої потужності;
- 700–800 В для сучасних швидкісних станцій;
- до 1000 В для надшвидкісних зарядних систем.

У сучасних системах найбільш поширеним значенням є DC-шина 800 В, оскільки її використання дозволяє зменшити струми при передачі великих потужностей.

1.3 Основні функціональні блоки гібридної зарядної станції

1) Мережевий AC/DC-перетворювач

AC/DC-перетворювач виконує:

- випрямлення змінної напруги мережі;
- корекцію коефіцієнта потужності (PFC);
- стабілізацію напруги DC-шини;
- зниження гармонічних спотворень.

У сучасних швидкісних зарядних станціях найбільш часто використовуються:

- Interleaved Boost PFC;
- Vienna Rectifier;
- Totem-Pole PFC.

2) Фотоелектричний модуль

Фотоелектричні панелі забезпечують генерацію електроенергії від сонячного випромінювання. Через MPPT-контролер здійснюється підтримання режиму максимальної потужності.

Основні переваги використання сонячних модулів:

- зниження навантаження на електромережу;
- скорочення витрат електроенергії;
- зменшення шкідливих викидів.

3) Система накопичення енергії

Система накопичення енергії використовується для:

- компенсації пікових навантажень;
- резервного живлення;
- накопичення надлишкової сонячної енергії;
- стабілізації режимів роботи.

Для швидкісних зарядних станцій найчастіше використовуються наступні типи накопичувачів (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Типи накопичувачів для гібридних зарядних систем

Тип батареї	Енергетична щільність (Вт·год/кг)	Цикли
Li-ion	150–260	1000–3000
LiFePO ₄	90–160	3000–7000
LTO	70–90	10000–25000

4) Система керування потоками енергії

Одним із найважливіших елементів гібридної станції є система керування потоками енергії (Energy Management System, EMS).

Основними функціями EMS є:

- розподіл потужності між джерелами;
- прогнозування навантаження;

- керування зарядом накопичувача;
- забезпечення максимальної ефективності роботи;
- мінімізація споживання енергії від мережі.

Алгоритм роботи системи може реалізовуватися таким чином:

1. При достатній сонячній генерації електромобіль заряджається від фотоелектричної системи.
2. При недостатній потужності додатково використовується накопичувач енергії.
3. Якщо сумарної потужності недостатньо, підключається електрична мережа.
4. Надлишкова енергія спрямовується на заряджання накопичувача.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз основних топологій силових перетворювачів

Силові перетворювачі є ключовими елементами сучасних швидкісних зарядних станцій електромобілів. Вони забезпечують перетворення електричної енергії між мережею, накопичувачами енергії, відновлюваними джерелами енергії та акумуляторною батареєю електромобіля. Від правильного вибору топології силового перетворювача залежать коефіцієнт корисної дії системи, якість електроенергії, рівень електромагнітних завад, габарити обладнання та його вартість.

У більшості сучасних швидкісних зарядних станцій застосовується дворівнева структура перетворення енергії, яка включає:

- AC/DC-перетворювач із корекцією коефіцієнта потужності;
- ізолюваний DC/DC-перетворювач для формування необхідних параметрів заряджання.

2.1.1 Interleaved Boost PFC

Interleaved Boost PFC є одним із найпоширеніших рішень для однофазних зарядних станцій малої та середньої потужності.

Принцип роботи полягає у використанні двох або більше паралельних Boost-конвертерів, які працюють зі зсувом фаз керуючих імпульсів на 180° .

Електрична принципова схема подібного конвертора зображена на рис. 2.1.

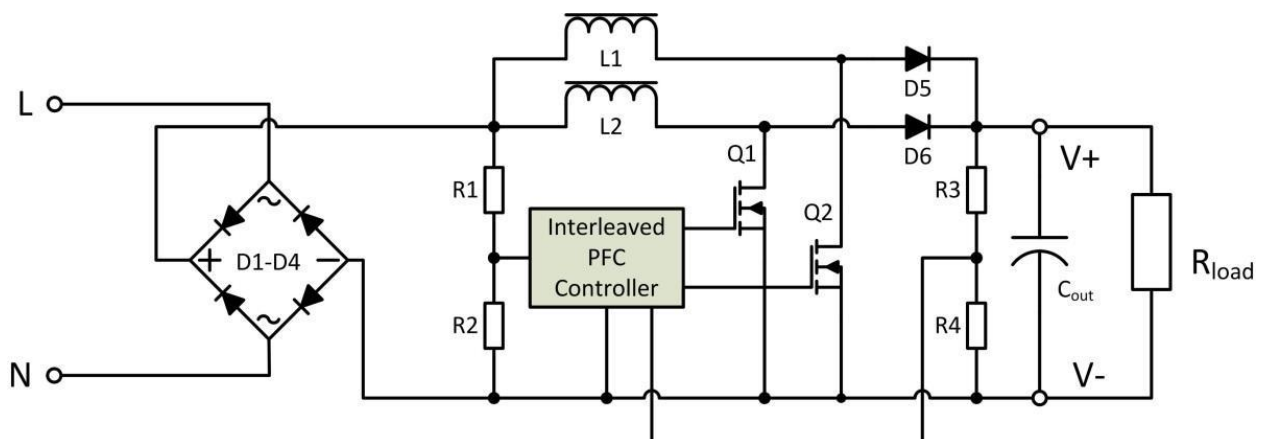


Рисунок 2.1 – Схема двофазного Interleaved Boost PFC-перетворювача

Основними перевагами даної топології є:

- зменшення пульсацій вхідного струму;
- рівномірний розподіл струму між силовими ключами;
- зменшення розмірів дроселів;
- високий коефіцієнт потужності (до 0,99);
- ККД до 97–98 %.

Недоліком є збільшення кількості компонентів та складність системи керування.

2.1.2 Vienna Rectifier

Vienna Rectifier є однією з найбільш популярних топологій для трифазних зарядних станцій потужністю понад 30 кВт.

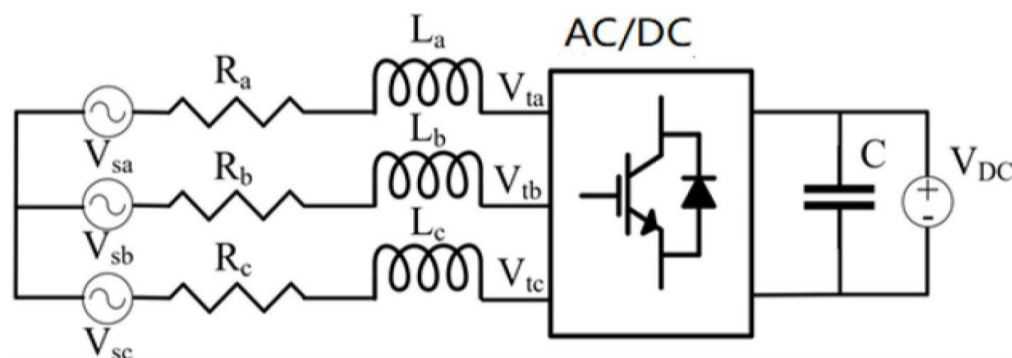


Рисунок 2.2 – Топологія Vienna Rectifier

Основними особливостями Vienna Rectifier є:

- трифазне живлення;
- трирівнева структура;
- низькі гармонічні спотворення струму;
- високий коефіцієнт потужності;
- низькі втрати перемикавання.
- Переваги:
- ККД до 98–99 %;

- менші вимоги до фільтрів;
- зменшені струмові навантаження на ключі;
- висока надійність.

Недоліки:

- одностороння передача енергії;
- складніша схема керування;
- необхідність балансування напруг конденсаторів DC-шини.

Саме Vienna Rectifier сьогодні широко використовується у швидкісних зарядних станціях потужністю 50–350 кВт.

2.1.3 Totem-Pole PFC

Одним із найбільш перспективних рішень є Totem-Pole PFC (рис. 2.3).

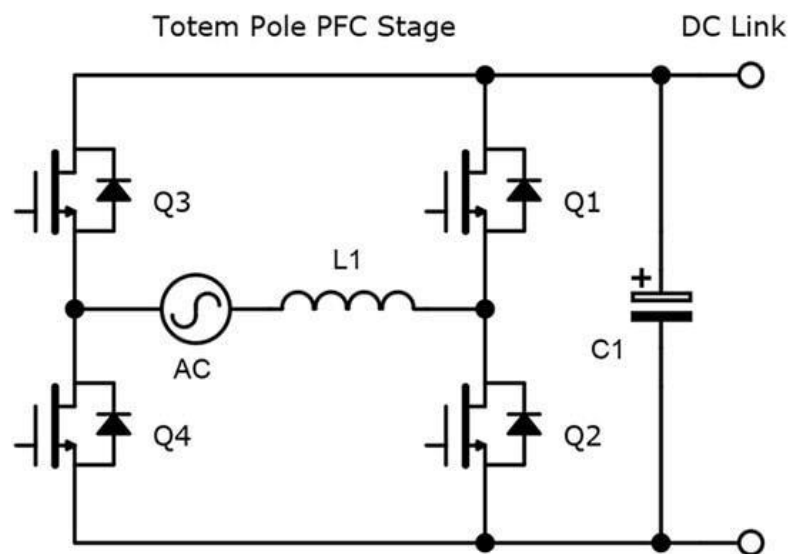


Рисунок 2.3 – Топологія Totem-Pole PFC

На відміну від класичних схем, Totem-Pole PFC не використовує традиційний діодний міст.

Основні переваги:

- відсутність втрат у входному випрямному мосту;
- високий ККД (до 99 %);

- менша кількість компонентів;
- можливість двонаправленого потоку енергії;
- підтримка технології Vehicle-to-Grid (V2G).

Особливо ефективною ця топологія стала після появи SiC MOSFET та GaN HEMT транзисторів, які дозволяють працювати на високих частотах перемикання.

Недоліки:

- складне керування;
- високі вимоги до драйверів;
- підвищені вимоги до електромагнітної сумісності.

LLC-резонансний перетворювач

Після формування високовольтної DC-шини енергія передається до ізольованого DC/DC-перетворювача.

Найбільш поширеним рішенням є LLC-резонансний перетворювач (рис. 2.4).

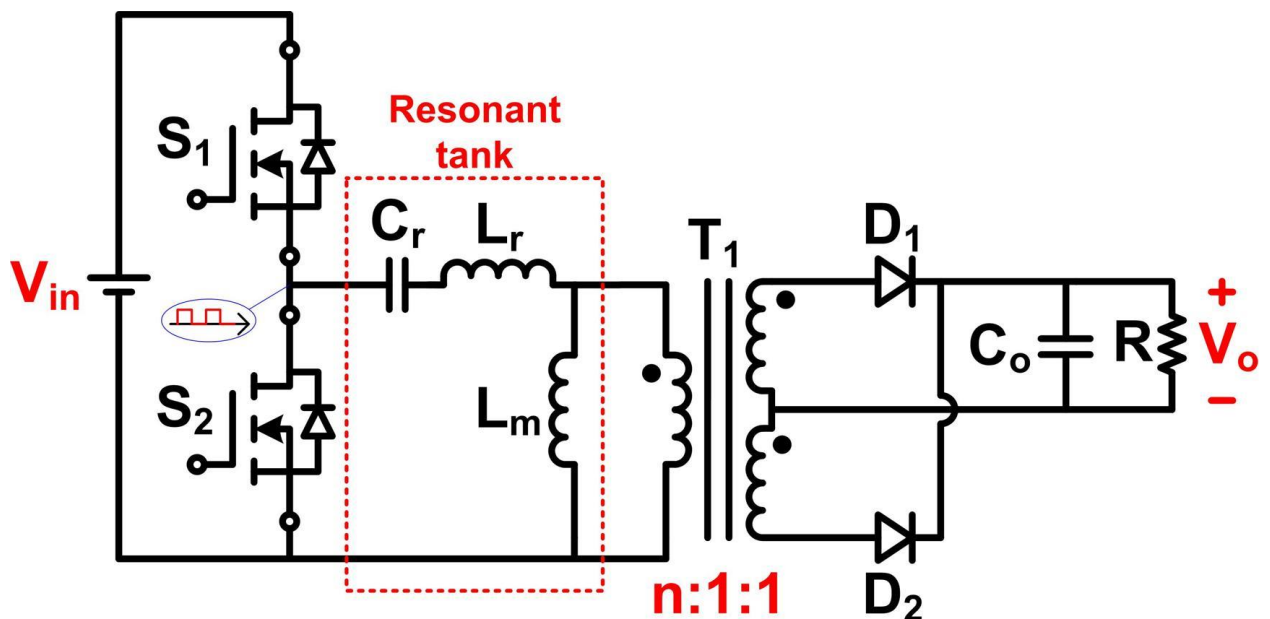


Рисунок 2.4 – LLC-резонансний перетворювач

До складу LLC-конвертера входять:

- резонансний дросель;
- резонансний конденсатор;
- високочастотний трансформатор;

- випрямляч вихідного каскаду.

Переваги:

- ZVS (Zero Voltage Switching);
- мінімальні втрати перемикання;
- ККД до 98 %;
- висока щільність потужності.

Недоліки:

- складність розрахунку;
- вузький діапазон регулювання;
- складне керування поза резонансом.

2.1.4 Dual Active Bridge (DAB)

Останнім часом значну популярність отримує двонаправлений перетворювач Dual Active Bridge (рис. 2.5).

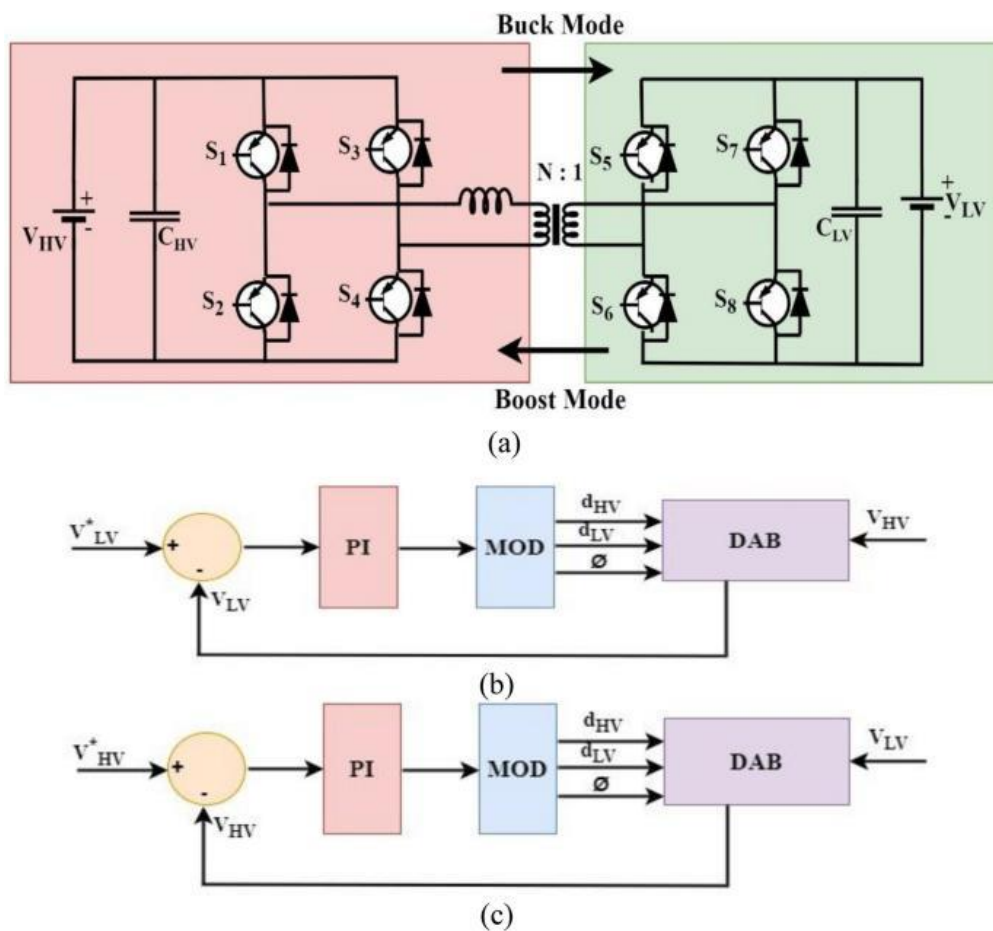


Рисунок 2.5 – Перетворювач Dual Active Bridge

DAB складається з:

- двох активних мостів;
- високочастотного трансформатора;
- системи фазового керування.

Основними перевагами є:

- двонаправлена передача енергії;
- підтримка V2G;
- гальванічна розв'язка;
- ККД до 97–98 %;
- можливість роботи з накопичувачами енергії.

Недоліками є:

- складне керування;
- значні циркулюючі струми;
- необхідність точного налаштування фазового зсуву.

Порівняння основних силових перетворювачів для швидкісних зарядних станцій наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняння основних силових перетворювачів для швидкісних зарядних станцій

Топологія	ККД, %	Двонаправленість	Складність
Interleaved Boost PFC	97–98	Ні	Середня
Vienna Rectifier	98–99	Ні	Висока
Totem-Pole PFC	98–99	Так	Висока
LLC Converter	97–98	Ні	Середня
Dual Active Bridge	97–98	Так	Висока

2.2 Сучасна зарядна інфраструктура

Зростання кількості електромобілів у світі створює як нові можливості, так і додаткові виклики для електроенергетичних систем. Неконтрольоване заряджання великої кількості електромобілів може спричиняти перевантаження електричних мереж, погіршення показників якості електроенергії та зниження стабільності роботи енергосистеми. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки сучасних методів керування процесом заряджання, які б забезпечували ефективне використання енергетичних ресурсів та підтримання надійності мережі. Одним із перспективних напрямків є використання технологій інтелектуальних електричних мереж (Smart Grid), що дозволяють здійснювати гнучке керування енергетичними потоками.

Важливу роль у розвитку зарядної інфраструктури відіграє інтеграція відновлюваних джерел енергії, зокрема фотоелектричних установок. Використання сонячної енергії для заряджання електромобілів сприяє скороченню споживання викопного палива, зменшенню викидів парникових газів та підвищенню екологічності транспортного сектору. Проте характерною особливістю відновлюваних джерел енергії є нестабільність генерованої потужності, яка залежить від погодних умов та рівня сонячної інсоляції. Для компенсації цих коливань до складу зарядних станцій все частіше включаються системи накопичення енергії на основі акумуляторних батарей.

Наявність накопичувачів енергії дозволяє забезпечити безперервне живлення зарядної інфраструктури навіть за умов недостатньої генерації від сонячних панелей. Крім того, акумуляторні системи дають змогу накопичувати надлишкову електроенергію та використовувати її в періоди підвищеного навантаження. Водночас взаємодія між електромобілями, фотоелектричними установками, накопичувачами енергії та електричною мережею потребує застосування ефективних алгоритмів керування потоками потужності для забезпечення стабільної та економічно вигідної роботи системи.

Однією з ключових складових електромобільного транспорту є система зберігання енергії. На сьогодні найбільш поширеною технологією залишаються літій-іонні акумуляторні батареї, які характеризуються високою питомою енергоємністю, тривалим ресурсом роботи, низьким рівнем саморозряду та відсутністю ефекту пам'яті. Саме ці переваги забезпечили широке використання літій-іонних акумуляторів у сучасних електромобілях.

Зарядження електромобілів може здійснюватися двома основними способами: за допомогою вбудованих та зовнішніх зарядних пристроїв. У першому випадку перетворення електричної енергії відбувається безпосередньо на борту транспортного засобу, а джерелом живлення виступає стандартна мережа змінного струму. У другому випадку зарядження виконується на спеціалізованих зарядних станціях, які забезпечують значно вищу потужність та скорочують час зарядження акумуляторної батареї.

Одним із найважливіших завдань сучасної електромобільної інфраструктури є оптимізація процесів зарядження. Для вирішення цієї задачі розроблено велику кількість методів та алгоритмів керування. Широкого поширення набули централізовані системи керування, в яких спеціальний координуючий центр здійснює планування режимів зарядження на основі поточного стану мережі, тарифів на електроенергію та побажань користувачів. Такий підхід дозволяє мінімізувати навантаження на мережу та використовувати електромобілі для надання допоміжних послуг енергосистемі, зокрема підтримання напруги та частоти. Проте його реалізація потребує складної інформаційно-комунікаційної інфраструктури.

Альтернативою є децентралізовані системи керування, в яких рішення щодо зарядження приймаються безпосередньо окремими зарядними пристроями або електромобілями на основі локальної інформації та цінових сигналів. Такий підхід є більш масштабованим і простішим у впровадженні, однак може призводити до менш ефективного використання ресурсів електромережі.

Для оптимізації режимів роботи зарядних станцій широко застосовуються сучасні математичні методи, серед яких особливе місце займають алгоритми ройової

оптимізації частинок (Particle Swarm Optimization, PSO), генетичні алгоритми, а також статистичне моделювання методом Монте-Карло. Використання цих методів дозволяє знаходити оптимальні режими роботи системи за умов невизначеності та змінності навантаження.

У даній роботі розглядається гібридна швидкісна зарядна станція електромобілів, яка поєднує фотоелектричну систему, акумуляторний накопичувач енергії та централізовану електричну мережу в єдину мікроенергетичну систему. Основною метою дослідження є підвищення ефективності використання відновлюваних джерел енергії та зменшення експлуатаційних витрат шляхом оптимізації потоків потужності між окремими компонентами системи. Для цього застосовується прогнозуюча стратегія керування, яка враховує поточну вартість електроенергії, режими роботи накопичувача енергії та особливості процесу заряджання електромобілів, забезпечуючи стабільність роботи зарядної станції та максимальне використання енергії відновлюваних джерел.

2.3 Архітектура системи зарядної станції електромобілів

На рисунку 2.6 наведено структуру мережевої зарядної станції електромобілів (EVCS) з ієрархічною системою керування. Основу системи складає головний контролер (Master Controller), який координує роботу всіх компонентів станції, здійснює розподіл потужності, взаємодіє з електричною мережею та системою керування зарядною інфраструктурою (CMS).

Керування окремими зарядними постами здійснюється локальними контролерами (Slave Controllers), що забезпечують контроль процесу заряджання кожного електромобіля. Окремі контролери відповідають за роботу мережевого інвертора та системи накопичення енергії (BESS), керуючи потоками потужності між мережею, накопичувачем та навантаженням.

Запропонована архітектура реалізує систему енергоменеджменту, яка надає пріоритет використанню енергії від відновлюваних джерел та накопичувачів,

зменшуючи споживання електроенергії з мережі. Модульна структура забезпечує просте масштабування зарядної станції та підвищує надійність її роботи.

Таким чином, ієрархічна система керування дозволяє забезпечити ефективну, безпечну та енергоощадну роботу гібридної швидкісної зарядної станції електромобілів.

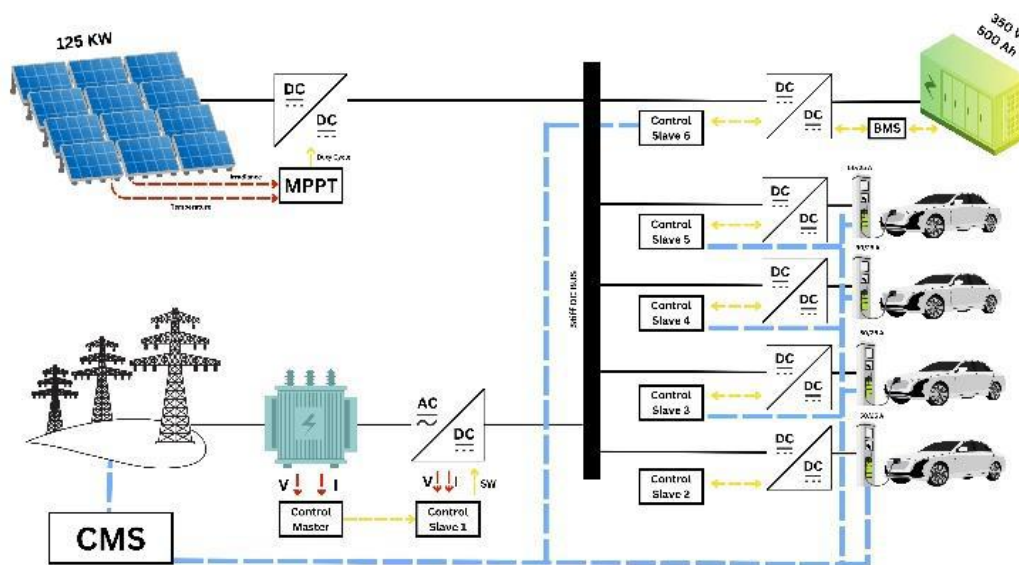


Рисунок 2.6 – Структурна схема гібридної швидкісної зарядної станції електромобілів.

2.4 Структура силової частини гібридної швидкісної зарядної станції

Гібридна швидкісна зарядна станція складається з комплексу силових електронних перетворювачів, що забезпечують ефективний розподіл енергії між фотоелектричною системою, накопичувачем енергії, електричною мережею та електромобілями (Рис. 2.7).

Фотоелектричні модулі підключені до підвищувального DC/DC-перетворювача (Boost Converter), який працює під керуванням алгоритму відстеження точки максимальної потужності (MPPT). Це дозволяє отримувати максимальну потужність від сонячних панелей за різних умов освітлення.

Система накопичення енергії (BESS) підключається до загальної шини постійного струму через двонаправлений DC/DC-перетворювач, що забезпечує як заряджання акумуляторів, так і передачу накопиченої енергії до навантаження.

Центральним елементом системи є DC-шина, через яку здійснюється обмін енергією між усіма джерелами та споживачами. Стабілізація напруги на шині забезпечується двонаправленим мережевим інвертором, який регулює обмін потужністю з електромережею.

Кожен зарядний пост оснащений окремим DC/DC-перетворювачем типу Single Active Bridge (SAB), який забезпечує необхідні параметри заряджання акумуляторної батареї електромобіля.

Моніторинг напруги та струму DC-шини в реальному часі дозволяє системі керування оптимізувати енергетичні потоки, підтримувати стабільність роботи та максимально використовувати енергію відновлюваних джерел. Таким чином, запропонована структура забезпечує ефективну та надійну роботу гібридної швидкісної зарядної станції електромобілів.

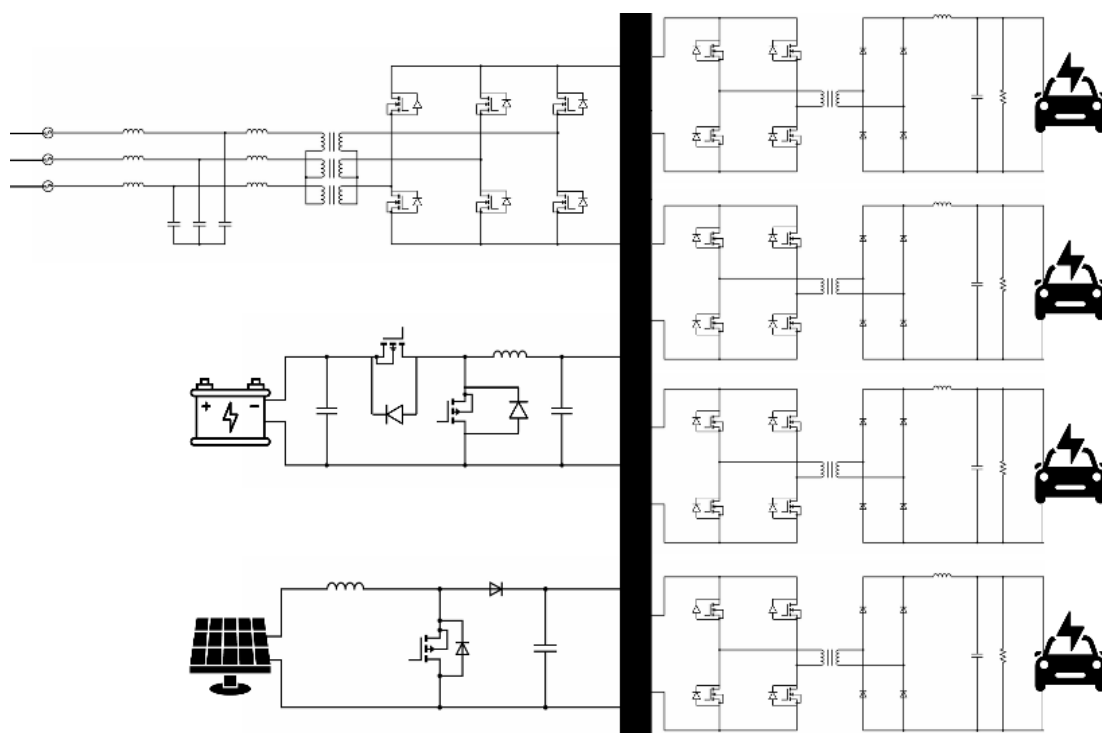


Рисунок 2.7 – Структурна схема системи.

2.5 Буферний накопичувач енергії

У запропонованій зарядній станції літій-іонна акумуляторна батарея підключається до шини постійного струму (DC-шини) через двонаправлений DC/DC-перетворювач. Така конфігурація забезпечує можливість як накопичення енергії, так і її передачі до навантаження залежно від режиму роботи системи.

Під час заряджання акумуляторної батареї перетворювач працює в режимі пониження напруги (Buck), а під час розряджання — в режимі підвищення напруги (Boost), забезпечуючи передачу накопиченої енергії до DC-шини.

На рисунку 2.8 наведено систему керування процесами заряджання та розряджання накопичувача енергії. Керуючий сигнал формується на основі еталонного значення струму батареї, яке надходить від системи керування зарядною станцією (CMS). Для регулювання струму використовується пропорційно-інтегральний (PI) регулятор, який обчислює сигнал керування на основі різниці між заданим та фактичним значеннями струму акумуляторної батареї.

Застосування двонаправленого DC/DC-перетворювача та PI-регулятора дозволяє ефективно керувати енергетичними потоками, стабілізувати напругу DC-шини та забезпечувати оптимальні режими роботи системи накопичення енергії в складі гібридної швидкісної зарядної станції електромобілів.

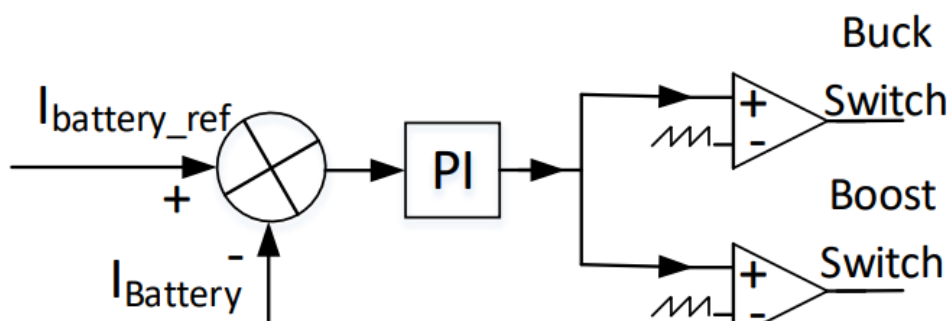


Рисунок 2.8 – Контур керування акумуляторною батареєю.

3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1 Результати моделювання. Вхідні параметри.

У цьому розділі наведено аналіз результатів моделювання в середовищі MATLAB/Simulink для запропонованої мережевої зарядної станції електромобілів, яка поєднує відновлювані джерела енергії та акумуляторну систему накопичення.

Модель системи включає фотоелектричну установку потужністю 125 кВт. Усі силові електронні перетворювачі працюють із частотою комутації 25 кГц. Як накопичувач енергії використано акумуляторну батарею 350 В, 500 А·год. Індуктивність двонаправленого Buck-Boost перетворювача прийнято рівною 500 мкГн. Вихідний LC-фільтр мережевого інвертора складається з індуктивності 1 мГн та конденсатора 25 мкФ.

Відповідно до структурної схеми системи, зарядна станція містить чотири зарядні пости. Кожен із них може працювати у двох режимах:

SC — повільне заряджання:

$$P_{SC} = 25 \text{ кВт}$$

FC — швидке заряджання:

$$P_{FC} = 50 \text{ кВт.}$$

У таблиці 3.1 наведено сценарій моделювання роботи гібридної зарядної станції для різних часових інтервалів. Для акумуляторної системи накопичення енергії додатне значення потужності означає процес заряджання батареї, а від'ємне — її розряджання. Для мережевого інвертора додатне значення відповідає передачі електроенергії до мережі, а від'ємне — споживанню електроенергії з мережі.

Таблиця 3.1 – Сценарій моделювання роботи гібридної зарядної станції для різних часових інтервалів

Time Slot	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
CS (1)		SC	SC	SC	SC	SC	FC	FC
CS (2)			FC	FC	FC	FC	FC	FC
CS (3)							FC	FC
CS (4)								FC
EV P _w (kW)		25	75	75	75	75	150	200
Battery (kW)	50	50	25	-25	-25	-50	-50	-50
PV (kW)	125	125	100	100	62.5	62.5	62.5	62.5
Grid Power (kW)	75	50	0	50	12.5	37.5	-37.5	-87.5

3.2 Робота фотоелектричної системи при зміні сонячної інсоляції

На рисунку 3.1 наведено результати моделювання роботи фотоелектричної системи за різних рівнів сонячної інсоляції. Початкове значення інсоляції становить 1000 Вт/м², після чого на 2-й секундi зменшується до 800 Вт/м², а на 4-й секундi — до 500 Вт/м².

Зміна рівня сонячного випромінювання безпосередньо впливає на потужність, що генерується фотоелектричними модулями. Для забезпечення максимально можливого відбору енергії використовується гібридний алгоритм відстеження точки максимальної потужності (MPPT).

Результати моделювання показують, що застосований MPPT-алгоритм ефективно відстежує точку максимальної потужності фотоелектричної системи та забезпечує передачу отриманої енергії через підвищувальний DC/DC-перетворювач до DC-шини зарядної станції. Це дозволяє підтримувати ефективну роботу системи навіть за умов змінної сонячної інсоляції.[20]

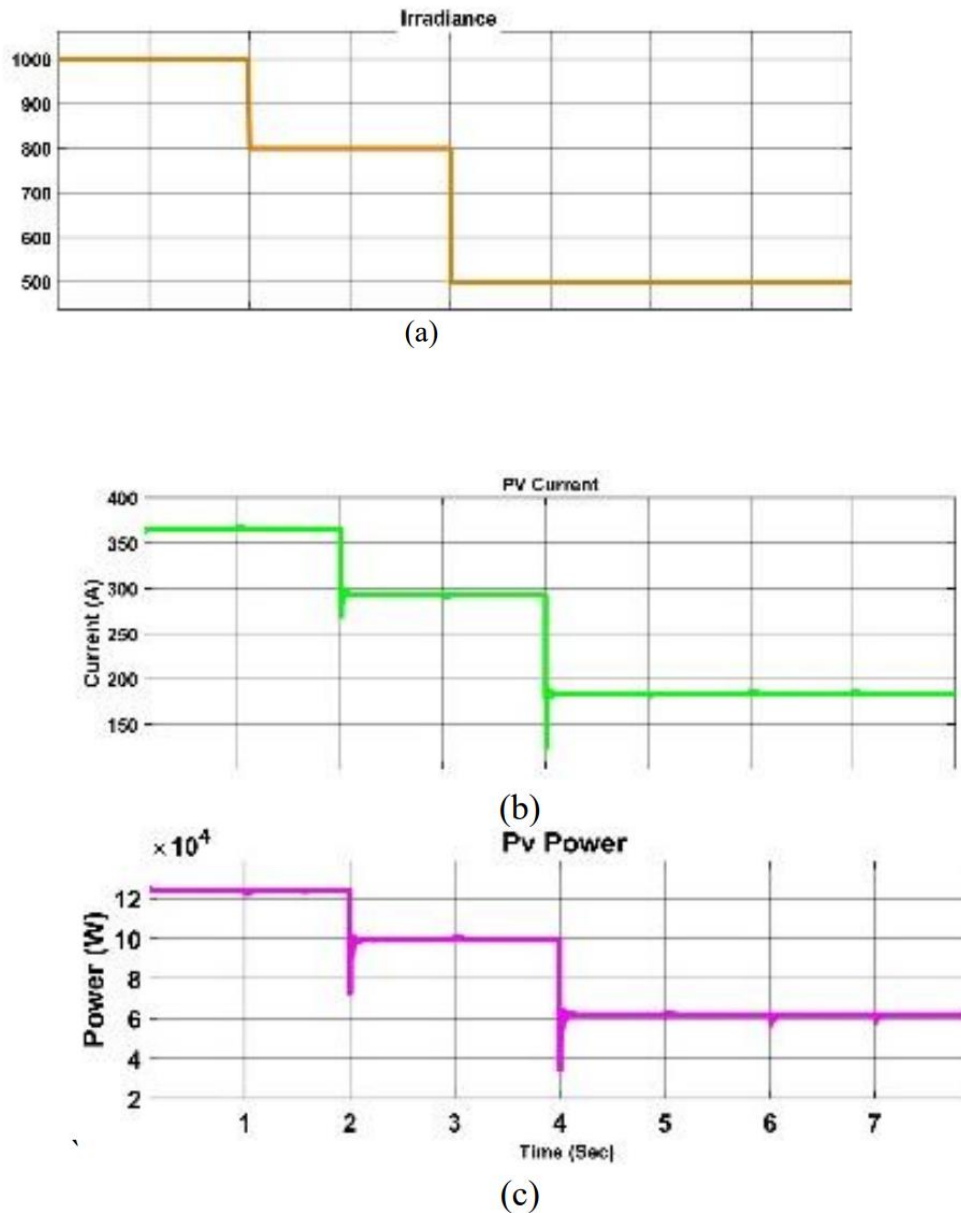


Рисунок 3.1 – Зміна параметрів фотоелектричної системи: а – сонячна інсоляція; б – вихідний струм фотоелектричних модулів; в – вихідна потужність фотоелектричної установки.

3.3 Гібридний алгоритм MPPT

Для підвищення ефективності використання сонячної енергії застосовано гібридний алгоритм відстеження точки максимальної потужності (MPPT), який поєднує методи Perturb and Observe (P&O) та Incremental Conductance (IC) (рис. 3.2).

Метод Р&О характеризується швидкою реакцією на зміну сонячної інсоляції та забезпечує оперативне коригування робочої точки фотоелектричної системи. Метод ІС відрізняється більшою точністю та стабільністю в усталених режимах роботи.

Гібридний алгоритм автоматично перемикається між цими методами залежно від швидкості зміни сонячного випромінювання, що дозволяє підтримувати роботу фотоелектричної системи поблизу точки максимальної потужності та забезпечувати максимальний відбір енергії за різних умов експлуатації.[20]

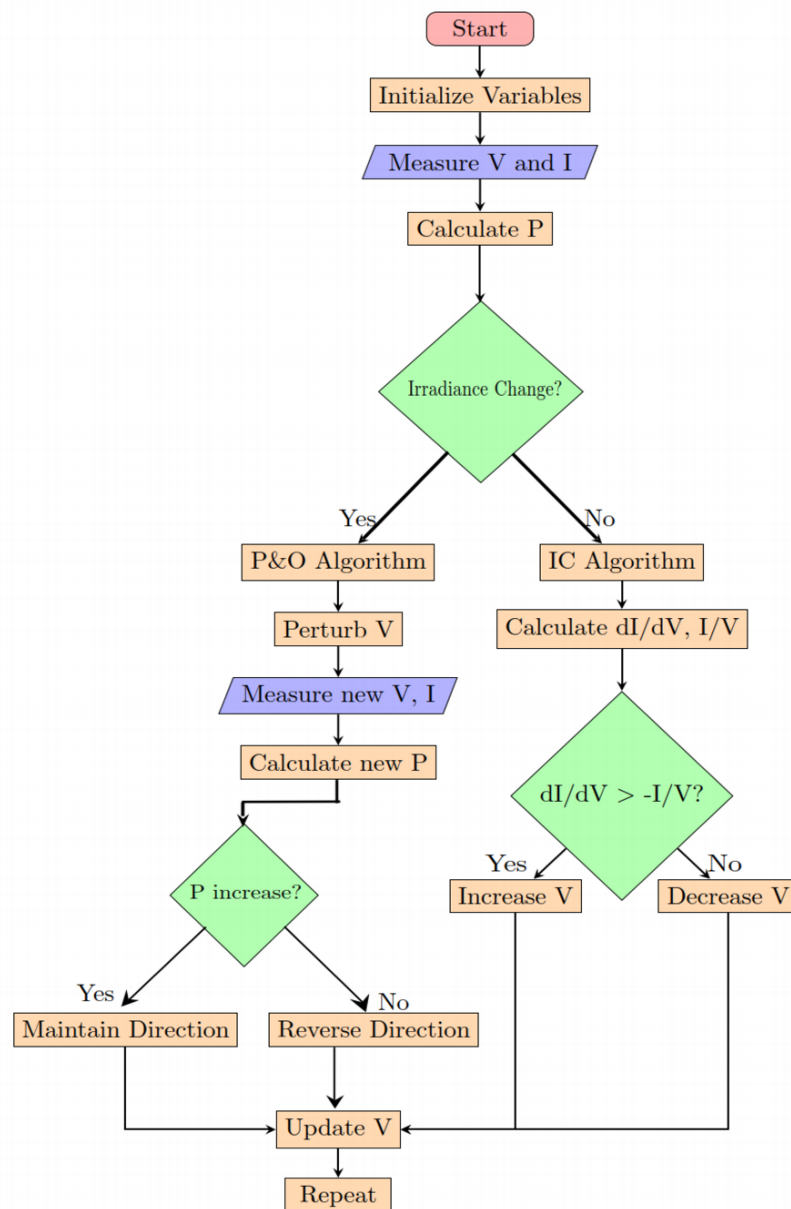


Рисунок 3.2 – Блок-схема запропонованого гібридного алгоритму MPPT

3.4 Робота акумуляторного накопичувача та стабілізація напруги DC-шини

На рисунку 3.3 показано зміну режимів роботи системи накопичення енергії (BESS) протягом моделювання. Акумуляторна батарея працює в режимах заряджання та розряджання залежно від співвідношення між потужністю фотоелектричної системи та навантаженням зарядної станції.

За надлишку потужності фотоелектричної установки частина енергії спрямовується на заряджання акумуляторного накопичувача, а надлишок передається до електричної мережі через мережевий інвертор. При недостатній генерації сонячної енергії накопичувач переходить у режим розряджання та компенсує дефіцит потужності, підтримуючи стабільну роботу зарядної станції.

Таким чином, використання BESS дозволяє згладжувати коливання потужності фотоелектричної системи та забезпечувати стабільність напруги на DC-шині за змінних режимів роботи.

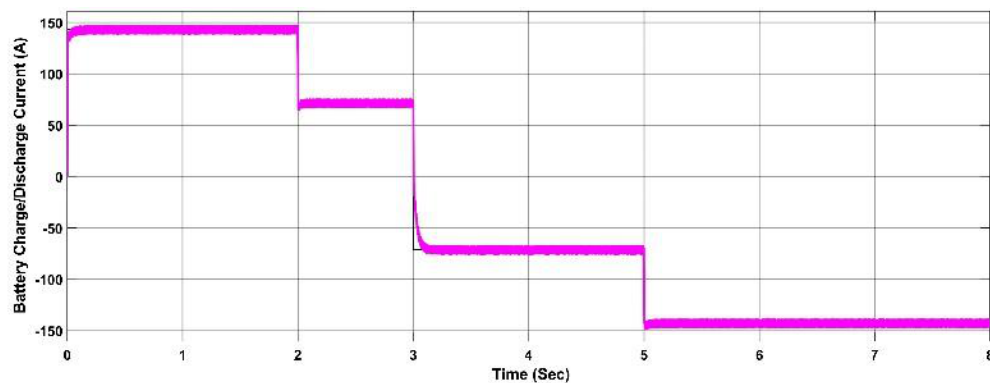


Рисунок 3.3 – Зміна режимів заряджання та розряджання акумуляторного накопичувача енергії (BESS)

3.5 Робота мережевого інвертора

Основним завданням мережевого інвертора є підтримання енергетичного балансу між фотоелектричною системою, акумуляторним накопичувачем,

зарядними станціями та електричною мережею. Керування роботою інвертора здійснюється шляхом підтримання напруги DC-шини на рівні 750 В.

При надлишку потужності фотоелектричної системи та повністю або майже повністю зарядженому накопичувачі енергія передається до електричної мережі. Якщо сумарної потужності фотоелектричної системи та BESS недостатньо для заряджання електромобілів, інвертор забезпечує надходження додаткової енергії з мережі.

У процесі роботи інвертор постійно контролює напругу DC-шини. При її підвищенні відбувається передача надлишкової енергії до мережі, а при зниженні — зменшення віддачі або перехід до режиму споживання електроенергії з мережі для стабілізації системи.

Результати моделювання показують, що мережевий інвертор ефективно підтримує баланс потужності та забезпечує стабільну напругу DC-шини з мінімальними перехідними відхиленнями (рис. 3.4-3.5).

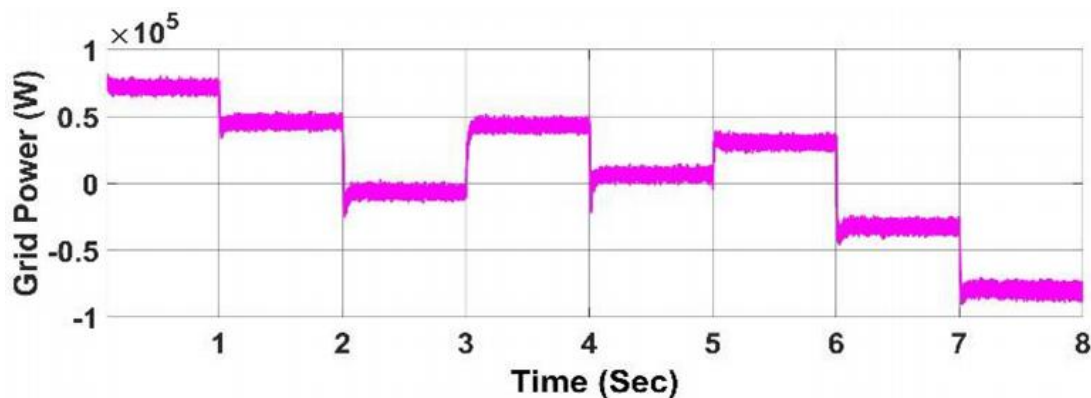


Рисунок 3.4 – Профіль потужності мережевого інвертора

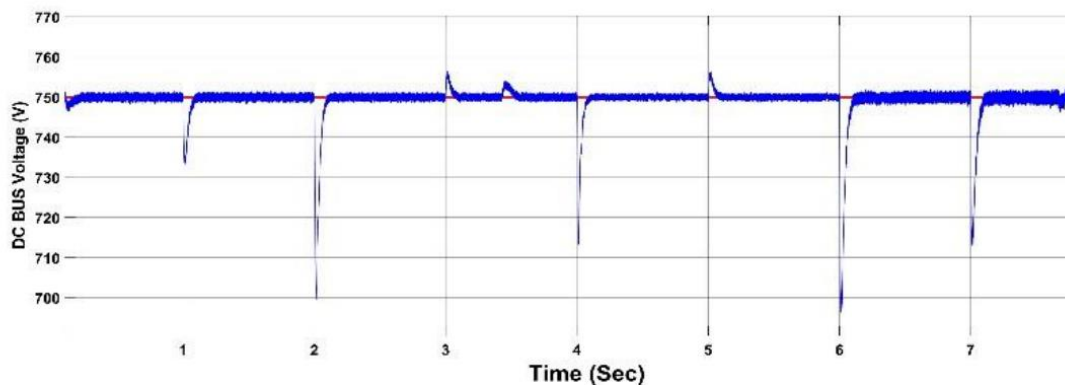


Рисунок 3.5 – Напруга DC-шини з мінімальними перехідними відхиленнями

3.6 Аналіз струмів мережі та режимів роботи мережевого інвертора

На рисунках 3.6(a) – 3.6(г) наведено осцилограми трифазних струмів електричної мережі та напруги фази А за різних режимів роботи гібридної зарядної станції. Аналіз отриманих результатів показує, що мережевий інвертор забезпечує формування синусоїдального струму з коефіцієнтом потужності, близьким до одиниці, що свідчить про високу якість електроенергії та ефективну роботу системи керування.[20]

На початковому етапі роботи потужність фотоелектричної системи перевищує потреби зарядної станції, тому надлишкова енергія передається до електричної мережі через мережевий інвертор. У цьому режимі струм мережі має напрямок від зарядної станції до мережі.

Після підключення електромобіля в режимі повільного заряджання (SC) навантаження системи збільшується, що призводить до зменшення потужності, яка передається до мережі. У результаті амплітуда мережевого струму зменшується, оскільки більша частина енергії починає використовуватися безпосередньо для заряджання акумулятора електромобіля.

У момент, коли сумарна потужність фотоелектричної установки та акумуляторного накопичувача повністю покриває потреби зарядної станції, обмін енергією з мережею практично припиняється. У цьому режимі мережевий струм

наближається до нуля, а система працює автономно за рахунок внутрішніх джерел енергії.

Подальше збільшення навантаження або зниження потужності фотоелектричної генерації призводить до виникнення дефіциту енергії. Для компенсації нестачі потужності мережевий інвертор переходить у режим споживання електроенергії з мережі. При цьому напрямок потоку потужності змінюється на протилежний, що супроводжується зміною фази струму приблизно на 180° відносно попереднього режиму роботи.

При подальшому зростанні навантаження, наприклад під час підключення додаткових електромобілів або переходу до режиму швидкого заряджання (FC), струм, що надходить з мережі, збільшується. Це забезпечує підтримання стабільної напруги на DC-шині та безперервність процесу заряджання.

Отримані результати підтверджують, що мережевий інвертор ефективно регулює потоки енергії між зарядною станцією та електричною мережею, автоматично адаптуючись до змін навантаження та потужності відновлюваних джерел енергії. Завдяки цьому забезпечується стабільність напруги DC-шини, надійність роботи зарядної інфраструктури та раціональне використання енергії фотоелектричної системи й акумуляторного накопичувача.

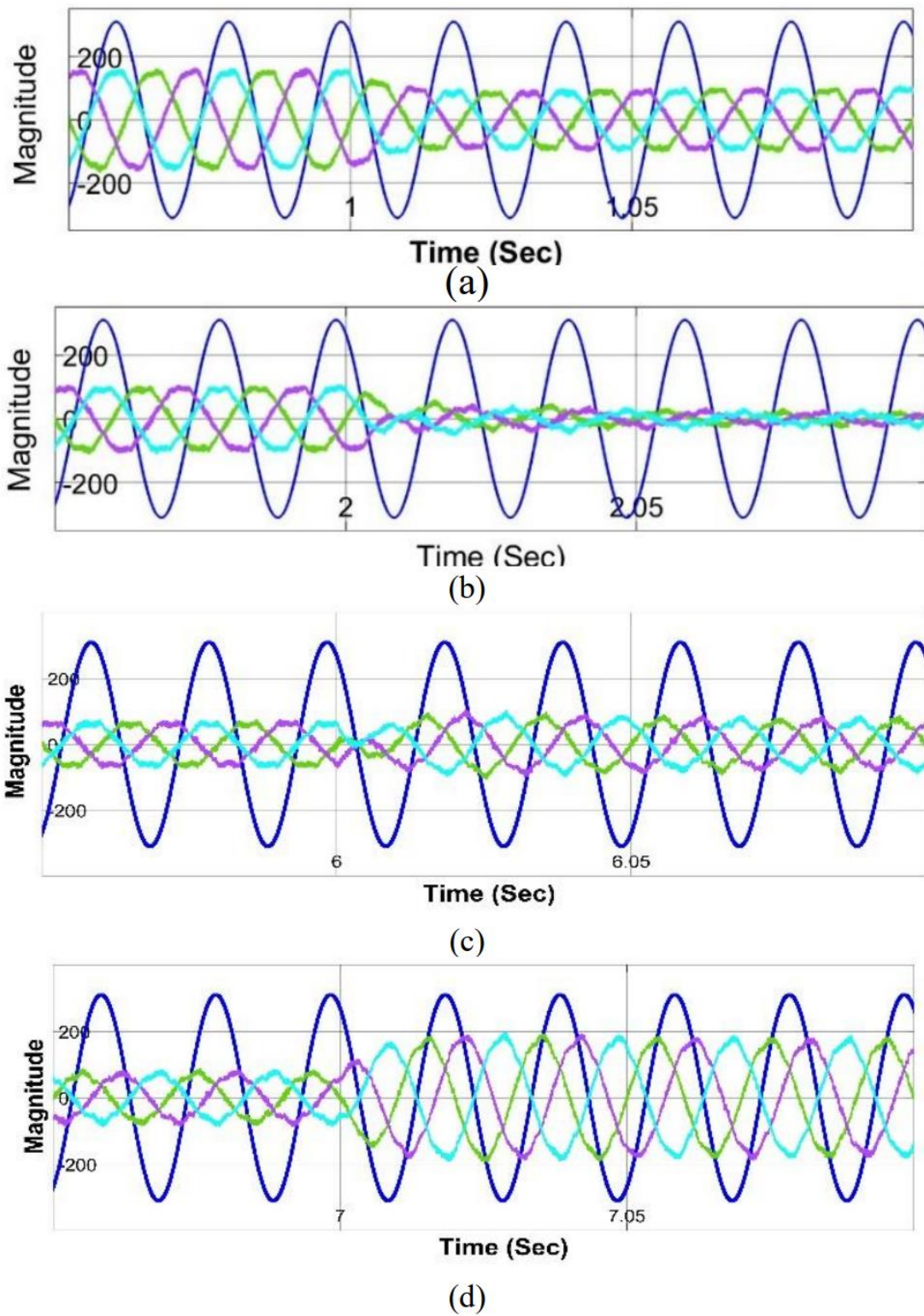


Рисунок 3.6 – Осцилограми трифазних струмів мережі та напруги фази А:

а) режим передачі енергії до мережі; б) режим нульового обміну потужністю; в) зміна напрямку потоку потужності; г) режим споживання енергії з мережі.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Завдання в галузі охорони праці

Збереження життя, здоров'я та працездатності людини є одним із найважливіших завдань держави. Відповідно до Конституції України людина, її життя і здоров'я визнаються найвищою соціальною цінністю. Саме тому значна увага приділяється створенню безпечних умов праці, запобіганню виробничому травматизму та професійним захворюванням, а також удосконаленню нормативно-правової бази у сфері охорони праці.

Незважаючи на позитивну тенденцію до зниження рівня виробничого травматизму в Україні протягом останніх десятиліть, проблема безпеки праці залишається актуальною. За статистичними даними, ще 15–20 років тому на виробництві щороку гинуло близько чотирьох тисяч працівників. Сьогодні цей показник суттєво зменшився, однак щорічно тисячі людей продовжують отримувати виробничі травми та професійні захворювання. Основними причинами нещасних випадків залишаються порушення вимог безпеки, недостатній рівень підготовки персоналу, зношеність обладнання, недотримання технологічних процесів та вплив небезпечних виробничих факторів.[1]

Охорона праці являє собою комплекс взаємопов'язаних правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці та збереження здоров'я працівників під час виконання трудових обов'язків. Головною метою системи охорони праці є попередження виробничого травматизму та створення умов, за яких ризик виникнення аварійних ситуацій буде мінімальним.

Важливу роль у забезпеченні безпеки праці відіграє науково-технічний прогрес. Впровадження сучасних технологій, автоматизованих систем керування, нових засобів контролю та діагностики дозволяє значно зменшити вплив небезпечних факторів на працівників. Особливого значення це набуває в

електротехнічній галузі, де персонал працює з електроустановками, силовими перетворювачами, акумуляторними системами та іншими джерелами підвищеної небезпеки.

Основним нормативно-правовим актом, що регулює питання безпеки праці в Україні, є Закон України «Про охорону праці». Закон визначає основні принципи державної політики у сфері охорони праці, права та обов'язки роботодавців і працівників, порядок організації системи управління охороною праці на підприємствах, а також відповідальність за порушення встановлених вимог. Уперше закон був прийнятий Верховною Радою України 14 жовтня 1992 року, а згодом, 21 листопада 2002 року, набув чинності в новій редакції.

Законодавство про охорону праці гарантує працівникам право на належні, безпечні та здорові умови праці, забезпечення засобами індивідуального та колективного захисту, проходження навчання з питань безпеки праці та отримання компенсацій у разі ушкодження здоров'я під час виконання трудових обов'язків. Роботодавець, у свою чергу, зобов'язаний створити безпечні умови праці, організувати проведення інструктажів, навчання та перевірку знань працівників з питань охорони праці.

Для деталізації положень Закону України «Про охорону праці» розроблено значну кількість нормативних документів, державних стандартів, правил та інструкцій, які регламентують вимоги безпеки для різних видів робіт і галузей промисловості. Їх виконання є обов'язковою умовою забезпечення належного рівня виробничої безпеки та збереження здоров'я працівників.

Окрім Закону України «Про охорону праці», питання безпеки та захисту працівників регулюються низкою інших нормативно-правових актів, зокрема положеннями Цивільного кодексу України, Кодексу законів про працю України, Кодексу України про адміністративні правопорушення та Кримінального кодексу України. Зазначені документи встановлюють правові засади відповідальності роботодавців і працівників за порушення вимог охорони праці, визначають порядок відшкодування збитків, а також регламентують адміністративну та

кримінальну відповідальність у разі виникнення нещасних випадків або аварій через недотримання встановлених норм безпеки.

У першому розділі Закону України «Про охорону праці» визначено основні терміни та поняття, які використовуються у сфері охорони праці. Зокрема, надаються визначення понять «охорона праці», «роботодавець», «працівник», «робоче місце», а також встановлюється сфера дії законодавства. Важливим положенням є те, що у випадку, коли міжнародними договорами України встановлено інші вимоги щодо охорони праці, ніж передбачені національним законодавством, застосовуються норми міжнародних договорів. Це сприяє гармонізації українського законодавства з міжнародними стандартами безпеки праці.

Державна політика у сфері охорони праці ґрунтується на принципі пріоритетності життя та здоров'я працівника над результатами виробничої діяльності. Одним із головних принципів є повна відповідальність роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці. Також передбачається соціальний захист працівників, обов'язкове відшкодування шкоди у разі ушкодження здоров'я або втрати працездатності внаслідок виконання трудових обов'язків, а також здійснення профілактичних заходів щодо запобігання виробничому травматизму та професійним захворюванням.

Розділ II Закону України «Про охорону праці» визначає гарантії прав громадян на безпечні умови праці. Відповідно до законодавства роботодавець зобов'язаний забезпечити працівників достовірною інформацією щодо умов праці, наявних небезпечних та шкідливих виробничих факторів, можливих ризиків для здоров'я та засобів захисту від них. Крім того, працівники повинні бути поінформовані про належні їм пільги та компенсації за роботу у шкідливих або небезпечних умовах.

На роботодавця покладається обов'язок організації соціального страхування працівників від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань, забезпечення їх спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту. У випадку виникнення виробничого травматизму або

професійного захворювання роботодавець зобов'язаний забезпечити відшкодування завданої шкоди відповідно до чинного законодавства.

Важливою гарантією є право працівника відмовитися від виконання робіт у разі виникнення виробничої ситуації, яка становить безпосередню загрозу його життю, здоров'ю або навколишньому середовищу. У такому випадку працівник повинен негайно повідомити про небезпеку безпосереднього керівника робіт або роботодавця для вжиття необхідних заходів щодо усунення небезпечних факторів.

У межах даної бакалаврської кваліфікаційної роботи особлива увага приділяється забезпеченню вимог охорони праці під час монтажу та експлуатації гібридної швидкісної зарядної станції електромобілів. Під час виконання монтажних робіт можливий вплив небезпечних факторів, пов'язаних із роботою електроустановок, силових перетворювачів, акумуляторних систем накопичення енергії та фотоелектричних модулів. Тому організація робіт повинна здійснюватися відповідно до вимог чинних нормативних документів, правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів та інших нормативних актів у сфері охорони праці.

Дотримання вимог законодавства, застосування сучасних технічних засобів захисту та проведення належного інструктажу персоналу є необхідною умовою забезпечення безпечного монтажу, налагодження та подальшої експлуатації зарядної станції електромобілів.

4.2 Аналіз умов праці при монтажі електронної частини гібридної зарядної станції. Виявлення небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Монтаж електронної частини гібридної швидкісної зарядної станції електромобілів передбачає виготовлення та складання силового перетворювача, монтаж електронних компонентів на друкованих платах, виконання паяльних робіт, налагодження окремих вузлів та перевірку працездатності обладнання.

Зазначені роботи виконуються в умовах конструкторського бюро науково-виробничої лабораторії відновлюваних джерел енергії (НВДЕ).[2]

Під час виконання монтажних і налагоджувальних робіт на працівників можуть впливати різноманітні небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Їх аналіз є необхідним для розроблення ефективних організаційних та технічних заходів щодо забезпечення безпечних умов праці.

До фізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів належать підвищені температури поверхонь інструментів і деталей під час виконання паяльних робіт. Температура жала паяльника може перевищувати 300–400 °С, що створює ризик отримання термічних опіків при необережному поводженні з обладнанням. Крім того, нагрівання електронних компонентів та силових елементів під час випробувань також може становити небезпеку для персоналу.

Важливим фактором є мікроклімат виробничого приміщення. Залежно від пори року температура повітря на робочому місці може відхилятися від нормативних значень. Підвищена температура викликає швидку втому працівника та знижує його працездатність, тоді як знижена температура може призводити до погіршення самопочуття та зниження точності виконання монтажних операцій.

До фізичних факторів також належить недостатній рівень освітлення робочої зони. Монтаж електронних компонентів пов'язаний з виконанням точних операцій, тому якісне освітлення є важливою умовою безпечної та продуктивної праці. Недостатня освітленість може спричиняти перенапруження органів зору, підвищення втомлюваності та збільшення ймовірності помилок під час виконання монтажних робіт.

Особливу небезпеку становить можливість ураження електричним струмом. Під час складання, перевірки та налагодження силових електронних пристроїв працівники мають справу з електричними колами, які можуть перебувати під напругою. Пошкодження ізоляції, неправильне підключення обладнання або порушення правил електробезпеки можуть призвести до виникнення аварійних ситуацій та травмування персоналу.

До хімічних небезпечних і шкідливих факторів належать продукти, що виділяються під час паяння електронних компонентів. При нагріванні припоїв, флюсів та інших технологічних матеріалів у повітря робочої зони можуть потрапляти аерозолі та газоподібні речовини, які негативно впливають на органи дихання та загальний стан працівників. Тривалий вплив таких речовин може призводити до розвитку професійних захворювань, тому особливого значення набуває ефективна вентиляція приміщення та використання місцевих витяжних пристроїв.

До психофізіологічних факторів належать підвищене нервово-емоційне напруження, необхідність тривалого зосередження уваги та висока відповідальність за результати виконуваних робіт. Монтаж і налагодження електронних систем потребують значної концентрації, точності та акуратності, що може призводити до психологічного перевантаження, розвитку втоми та зниження продуктивності праці.

Таким чином, під час монтажу електронної частини зарядної станції на працівників впливає комплекс фізичних, хімічних та психофізіологічних факторів. Виявлення та аналіз зазначених небезпек є основою для розроблення комплексу організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці, зниження рівня виробничих ризиків та збереження здоров'я персоналу.

4.3 Розробка організаційних заходів з охорони праці в лабораторії проблем НВДЕ

4.3.1 Забезпечення нормативного санітарно-гігієнічного складу повітря в робочій зоні виконання паяльних робіт електронної частини перетворювача. Проектування місцевої вентиляції на ділянці з монтажу [4]

Під час виконання монтажу та паяння електронних компонентів перетворювача в повітря робочої зони можуть виділятися шкідливі речовини, що

утворюються внаслідок нагрівання припоїв, флюсів та ізоляційних матеріалів. До таких речовин належать аерозолі металів, продукти термічного розкладання каніфолі, органічні сполуки та інші домішки, які можуть негативно впливати на органи дихання, слизові оболонки та загальний стан працівників. Тривале перебування в умовах забрудненого повітря призводить до підвищеної втомлюваності, зниження працездатності та збільшення ризику виникнення професійних захворювань.

Незважаючи на постійне вдосконалення технологій монтажу електронних пристроїв та використання сучасних безпечних матеріалів, повністю виключити утворення шкідливих викидів у виробничих приміщеннях практично неможливо. Тому одним із найважливіших заходів забезпечення безпечних умов праці є організація ефективної системи вентиляції.

Для підтримання нормативних параметрів повітряного середовища застосовуються системи природної та механічної вентиляції. Природна вентиляція здійснюється за рахунок різниці температур і тиску зовнішнього та внутрішнього повітря, проте її ефективність значною мірою залежить від погодних умов і не забезпечує гарантованого видалення шкідливих речовин із робочої зони. У зв'язку з цим для приміщень, де виконуються паяльні роботи, доцільно використовувати механічну вентиляцію, яка забезпечує стабільний повітрообмін незалежно від зовнішніх факторів.

Для локалізації та видалення шкідливих виділень безпосередньо в місці їх утворення на робочому місці монтажника передбачається встановлення місцевої витяжної вентиляції. Основною перевагою такого рішення є запобігання поширенню забрудненого повітря по всьому приміщенню. Місцевий відсмоктувач дозволяє ефективно вловлювати пари флюсу та продукти паяння безпосередньо над місцем виконання робіт, значно знижуючи концентрацію шкідливих речовин у зоні дихання працівника.

Для забезпечення комфортних умов праці та підтримання нормативних параметрів мікроклімату в приміщенні конструкторського бюро також може використовуватися система кондиціонування повітря. Кондиціонер забезпечує

підтримання необхідної температури та вологості повітря, що позитивно впливає на самопочуття працівників і сприяє підвищенню продуктивності праці.



Рисунок 4.1 - Кондиціонер Leberg LBS-VKG12UA/LBU-VKG12UA

Видалення забрудненого повітря від місця виконання паяльних робіт здійснюється за допомогою місцевих витяжних пристроїв, таких як витяжні ковпаки, зонти або витяжні парасолі. Дані пристрої встановлюються безпосередньо над робочою поверхнею монтажного столу та підключаються до системи витяжної вентиляції за допомогою повітропроводів. Під дією вентилятора забруднене повітря відсмоктується із зони утворення шкідливих речовин і виводиться за межі приміщення або подається на систему очищення.

Ефективність роботи місцевої вентиляції значною мірою залежить від правильного вибору конструкції відсмоктувача, його розташування відносно джерела виділень та швидкості руху повітря у витяжному каналі. При проектуванні системи необхідно забезпечити таку витрату повітря, яка б гарантувала надійне видалення шкідливих речовин без створення дискомфорту для працівника. Принципову схему місцевої витяжної вентиляції робочого місця монтажника наведено на рисунку 4.2.

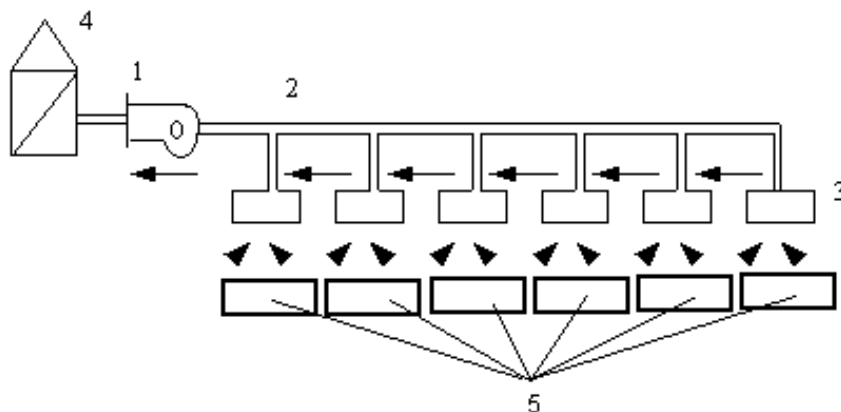


Рисунок 4.2 - Схема місцевої витяжної вентиляції: 1 – вентилятор; 2 – повітряно-провід; 3 – місцевий відсос; 4 – випускна труба; 5 – робочі місця

Для проєктування місцевої витяжної вентиляції необхідно визначити її основні розрахункові параметри. Одним із ключових показників є витрата повітря, яка повинна забезпечувати ефективне видалення шкідливих речовин безпосередньо із зони їх утворення.

Кількість повітря, що відводиться місцевим витяжним пристроєм (витяжною парасолею) протягом однієї години, визначається за розрахунковою формулою:

$$L = 3600 \cdot v \cdot F_{\text{п}}, \quad (4.1)$$

де v - середня швидкість усмоктування повітря у відкритий проріз шафи (парасоля), м/с;

$F_{\text{п}}$ - площа відкритого прорізу, м^2 .

На робочих місцях, де виконуються електромонтажні та паяльні роботи із застосуванням припоїв, що містять свинець, обов'язковим є використання місцевої витяжної вентиляції. Необхідність її встановлення зумовлена виділенням шкідливих аерозолів і парів свинцю під час нагрівання припою. Тип, конструктивне виконання та продуктивність вентиляційної системи визначаються

інтенсивністю утворення шкідливих речовин і кількістю свинцевих випарів, що надходять у повітря робочої зони в процесі паяння.

$$K_c = p \cdot r \cdot R \cdot N, \quad (4.2)$$

де p - відносна кількість вмісту свинцю в припої;

r - відносна кількість свинцю, що випаровується в повітря робочої зони при одній пайці;

R - витрата припою на одну пайку;

N - кількість пайок у годину.

Для виконання паяльних робіт у радіоелектронній та електротехнічній галузях широко застосовуються олов'яно-свинцеві припої. Одним із поширених є припій марки ПОС-50, у складі якого масова частка свинцю становить близько 50 %, тобто коефіцієнт вмісту свинцю приймається рівним ($r = 0,5$).

Під час нагрівання припою в процесі пайки частина свинцю переходить у пароподібний стан. Згідно з довідковими даними, кількість свинцю, що випаровується, становить приблизно від 2 до 5 % його загальної маси, що відповідає значенням коефіцієнта випаровування ($r = 0,02 \div 0,05$).

У середньому для виконання однієї операції пайки витрачається близько 0,1 г припою, а кількість паяних з'єднань протягом години може досягати 50–60. Використовуючи наведені вихідні дані та підставляючи їх у розрахункову залежність, визначимо кількість шкідливих речовин, що надходять у повітря робочої зони під час виконання паяльних робіт:

$$K_c = 0,5 \cdot 0,03 \cdot 0,1 \cdot 55 = 0,084 \text{ г.}$$

Визначаємо кількість повітря, яке необхідно видалити з робочої зони:

$$L = K_c / \text{ГДК}_c, \quad (4.3)$$

де $\text{ГДК}_c = \text{ГДК}$ пари свинцю.

ГДК_с становить 0,01 мг/м³. Розрахуємо L:

$$L = 0,083 / (0,01 \cdot 10)^{-3} = 8400 \text{ м}^3.$$

Визначаємо площу перетину прийомного (витяжного) отвору парасоля:

$$F_{\pi} = L / (3600 \cdot v). \quad (4.4)$$

Передбачаємо, що середня швидкість усмоктування повітря становить 1,2 м/с. Розрахуємо площу перетину:

$$F_{\pi} = 8400 / (3600 \cdot 1,2) = 1,98 \text{ м}^2.$$

Для забезпечення потрібної концентрації парів свинцю у повітрі робочої зони необхідно, щоб площа перетину витяжного отвору парасоля становила 1,92 м².

4.4 Забезпечення електробезпеки в приміщенні, де проводиться монтаж електронної частини перетворювача

4.4.1 Загальні положення

Відповідно до вимог нормативних документів, приміщення конструкторського бюро НВДЕ належить до категорії приміщень із підвищеною небезпекою ураження електричним струмом. Така класифікація обумовлена наявністю електротехнічного обладнання та проведенням робіт, пов'язаних із монтажем, налагодженням і випробуванням електронних пристроїв.

У процесі виконання робіт використовується електрообладнання з робочою напругою до 1000 В. Крім того, можливе виникнення струмів короткого замикання величиною до 500 А, що створює потенційну небезпеку для персоналу

у разі пошкодження ізоляції, порушення правил експлуатації обладнання або виникнення аварійних режимів роботи.

4.4.2 Організаційно-технічні заходи забезпечення електробезпеки в приміщенні конструкторського бюро НВДЕ

Безпечна експлуатація електрообладнання передбачає не лише використання справних технічних засобів, але й організацію ефективної системи контролю за їхнім станом та дотриманням вимог електробезпеки. Основні вимоги щодо організації безпечної роботи визначаються Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Усі працівники перед початком роботи проходять вступний та первинний інструктажі з охорони праці та електробезпеки. У конструкторському бюро НВДЕ для захисту персоналу застосовуються такі технічні заходи, як контроль стану ізоляції, захисне заземлення, подвійна ізоляція електроінструменту та пристрої захисного відключення. Особлива увага приділяється періодичній перевірці опору ізоляції електромереж та обладнання напругою до 1000 В.

Живлення обладнання здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В. Для зниження ризику ураження електричним струмом усі металеві неструмовідні частини обладнання підлягають захисному заземленню. Під час використання ручного електроінструменту та електропаяльників рекомендується застосовувати обладнання з подвійною ізоляцією, що забезпечує додатковий рівень захисту у разі пошкодження основної ізоляції.

Підключення переносного електроінструменту здійснюється за допомогою гнучких кабелів у гумовій оболонці, які мають підвищену механічну міцність та забезпечують безпечну експлуатацію обладнання в умовах монтажних робіт.

4.5 Висновки до розділу «Охорона праці»

У розділі охорони праці проведено аналіз умов праці під час виконання монтажу та налагодження електронної частини гібридної швидкісної зарядної станції електромобілів у приміщенні конструкторського бюро НВДЕ. Визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, серед яких підвищена температура паяльного обладнання, можливість ураження електричним струмом, недостатня освітленість робочої зони, забруднення повітря продуктами паяння, а також психофізіологічні навантаження на персонал.

Для забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних умов праці обґрунтовано необхідність застосування місцевої витяжної вентиляції на ділянці виконання паяльних робіт. Розглянуто принцип роботи системи вентиляції та заходи щодо підтримання допустимих концентрацій шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

Виконано аналіз вимог електробезпеки під час експлуатації електрообладнання та ручного електроінструменту. Передбачено застосування комплексу технічних заходів захисту, зокрема захисного заземлення, подвійної ізоляції, контролю стану ізоляції електрообладнання та використання пристроїв захисного відключення. Також розглянуто організаційні заходи безпеки, що включають проведення інструктажів та навчання персоналу.

Запропоновані технічні й організаційні рішення дозволяють знизити рівень виробничих ризиків, забезпечити відповідність умов праці вимогам чинних нормативних документів та створити безпечні умови для виконання монтажних і налагоджувальних робіт. Реалізація зазначених заходів сприятиме збереженню здоров'я працівників, підвищенню надійності виконання робіт та ефективності функціонування зарядної станції електромобілів.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі проведено дослідження роботи гібридної швидкісної зарядної станції електромобілів, що поєднує фотоелектричну систему, акумуляторний накопичувач енергії та централізовану електричну мережу в єдину енергетичну систему. Актуальність роботи обумовлена стрімким розвитком електромобільного транспорту, необхідністю розширення зарядної інфраструктури та підвищенням частки використання відновлюваних джерел енергії.

У процесі виконання роботи було проаналізовано сучасний стан розвитку зарядної інфраструктури електромобілів, розглянуто особливості побудови гібридних зарядних станцій та досліджено основні топології силових електронних перетворювачів, що застосовуються в сучасних системах швидкісного заряджання. Проведений аналіз показав перспективність використання фотоелектричних установок та систем накопичення енергії для зниження навантаження на електричну мережу та підвищення енергетичної ефективності зарядних станцій.

Розглянуто архітектуру гібридної швидкісної зарядної станції, що включає фотоелектричну систему потужністю 125 кВт, акумуляторний накопичувач енергії, мережевий інвертор та чотири зарядні пости для електромобілів. Проаналізовано принципи взаємодії між окремими елементами системи та алгоритми керування потоками енергії.

У роботі досліджено функціонування гібридного алгоритму відстеження точки максимальної потужності (MPPT), який поєднує методи Perturb and Observe та Incremental Conductance. Встановлено, що використання гібридного алгоритму забезпечує ефективне відстеження точки максимальної потужності фотоелектричної системи за умов зміни сонячної інсоляції та сприяє максимальному використанню енергії сонячного випромінювання.

Виконано розрахунок енергетичного балансу зарядної станції, визначено потужність зарядних модулів, параметри DC-шини, необхідну ємність

аккумуляторного накопичувача та розподіл потоків потужності між фотоелектричною системою, накопичувачем енергії та електричною мережею. Результати розрахунків підтвердили можливість суттєвого зменшення споживання електроенергії з мережі завдяки використанню відновлюваних джерел енергії та систем накопичення.

За результатами моделювання в середовищі MATLAB/Simulink встановлено, що запропонована система забезпечує стабільну роботу зарядної станції за різних режимів навантаження та змін сонячної інсоляції. Показано ефективну роботу аккумуляторного накопичувача енергії, який компенсує коливання потужності фотоелектричної системи та підтримує стабільність напруги DC-шини. Також підтверджено здатність мережевого інвертора автоматично змінювати напрямок потоку потужності залежно від енергетичного балансу системи, забезпечуючи надійне функціонування зарядної інфраструктури.

У розділі охорони праці проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що можуть виникати під час монтажу та налагодження електронної частини зарядної станції. Запропоновано заходи щодо забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних умов праці, електробезпеки та захисту персоналу від впливу небезпечних факторів.

Отримані результати свідчать про доцільність використання гібридних швидкісних зарядних станцій електромобілів з інтегрованими фотоелектричними установками та системами накопичення енергії. Запропоновані технічні рішення дозволяють підвищити енергоефективність зарядної інфраструктури, знизити навантаження на електричну мережу та збільшити частку використання відновлюваних джерел енергії, що відповідає сучасним тенденціям розвитку електротранспорту та енергетики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII (зі змінами та доповненнями). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 02.06.2026).
2. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ : Міністерство енергетики України, 2022. 306 с.
3. ДСТУ EN IEC 61851-1:2023. Система кондуктивного заряджання електромобілів. Частина 1. Загальні вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023.
4. ДСТУ IEC 60364-7-722:2021. Електроустановки низьковольтні. Вимоги до спеціальних установок або приміщень. Живлення електричних транспортних засобів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021.
5. Fang X., Misra S., Xue G., Yang D. Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2012. Vol. 14, No. 4. P. 944–980.
6. Rashid M. H. Power Electronics: Circuits, Devices and Applications. 5th ed. Hoboken : Pearson, 2023. 1136 p.
7. Erickson R. W., Maksimovic D. Fundamentals of Power Electronics. 3rd ed. Cham : Springer, 2020. 1080 p.
8. Mohan N. Power Electronics: A First Course. 2nd ed. Hoboken : Wiley, 2021. 416 p.
9. Infineon Technologies. Application Handbook for SiC MOSFETs. Munich : Infineon Technologies AG, 2023. 542 p.
10. Trovão J. P. F., Pereirinha P. G. Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks. London : Academic Press, 2023. 484 p.
11. Ehsani M., Gao Y., Longo S., Ebrahimi K. Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles. 4th ed. Boca Raton : CRC Press, 2024. 610 p.
12. IEC 61851-23:2023. Electric Vehicle Conductive Charging System – DC Electric Vehicle Charging Station. Geneva : IEC, 2023.

13. SAE J1772:2024. Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler. Warrendale : SAE International, 2024.
14. Gamboa G., Krein P. T., Hamilton R., et al. Control Strategy of a Multi-Port, Grid Connected, Direct DC PV Charging Station for Plug-In Electric Vehicles. IEEE Transactions on Industry Applications. 2018. Vol. 46, No. 5. P. 1920–1927.
15. Mahmoud M. S., Hussain S. A., Abido M. A. Modeling and Control of Hybrid Renewable Energy Systems. London : Academic Press, 2022. 568 p.
16. Kumar N., Singh B. Solar Powered Electric Vehicle Charging Stations: Design and Control Techniques. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2022. Vol. 154. Article 111838.
17. Teodorescu R., Liserre M., Rodríguez P. Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems. 2nd ed. Hoboken : Wiley-IEEE Press, 2023. 470 p.
18. Esram T., Chapman P. L. Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques. IEEE Transactions on Energy Conversion. 2007. Vol. 22, No. 2. P. 439–449.
19. Bhatnagar P., Nema R. K. Maximum Power Point Tracking Control Techniques: State-of-the-Art in Photovoltaic Applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019. Vol. 23. P. 224–241.
20. Marcus K. S., Abdelsalam I., Marei M. I. A Hybrid EV Fast Charging Station // Proceedings of the 2025 7th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). 2025. DOI: 10.1109/REEPE63962.2025.10971040.
21. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2020. 495 с.
22. Денисюк С. П., Танкевич С. Є. Інтелектуальні електричні мережі: технології, моделі та перспективи розвитку. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 412 с.
23. Праховник А. В., Денисюк С. П., Коцар О. В. Енергозбереження та енергоефективність в електроенергетиці. Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2021. 388 с.

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О.М. Бекетова**

Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної
та транспортної інфраструктури

Кафедра «Альтернативної електроенергетики та електротехніки»

**ІЛЮСТРАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ ДО
БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на тему:

**“Дослідження роботи гібридної швидкісної зарядної станції
електромобілів”**

Виконав: студент курсу 4, групи НВДЕ 2022; спеціальність 141 –
Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка; освітня програма –
Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії

Студент:



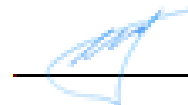
Юрій МАРУШКА

Керівник роботи:



Іван КОСТЕНКО

Завідувач кафедри:



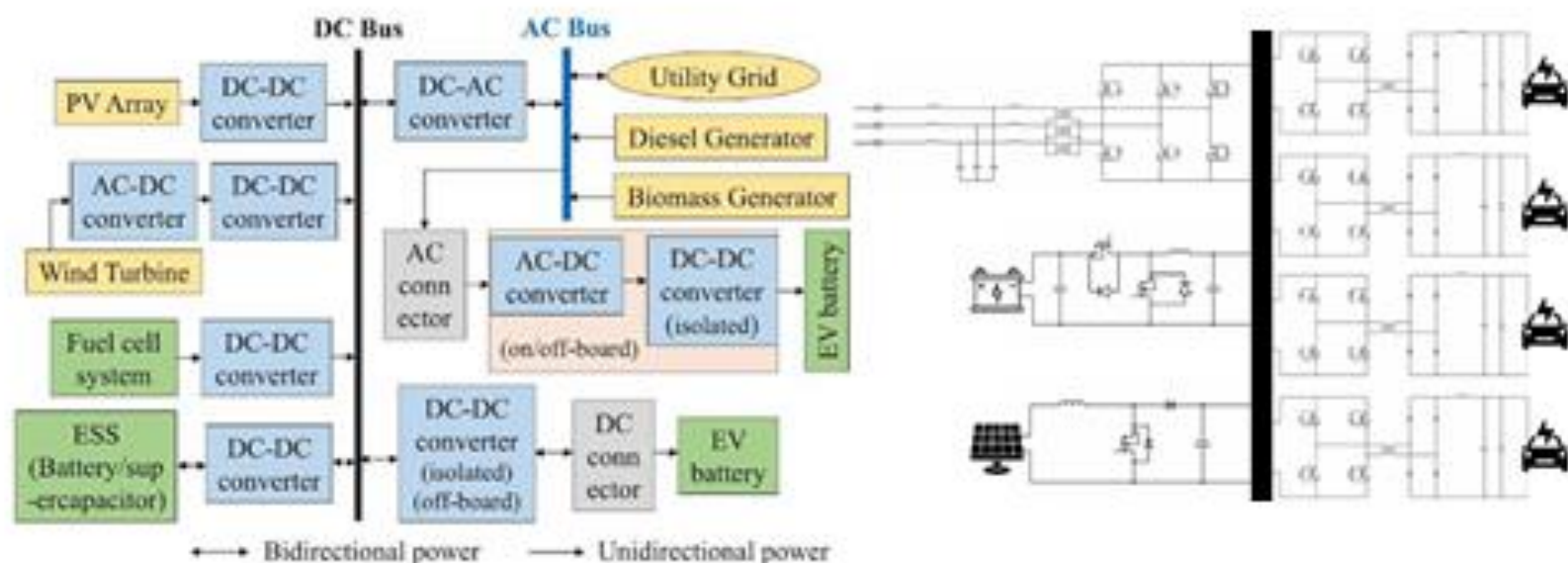
Олексій ЄГОРОВ

Харків – 2026

ПЕРЕЛІК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

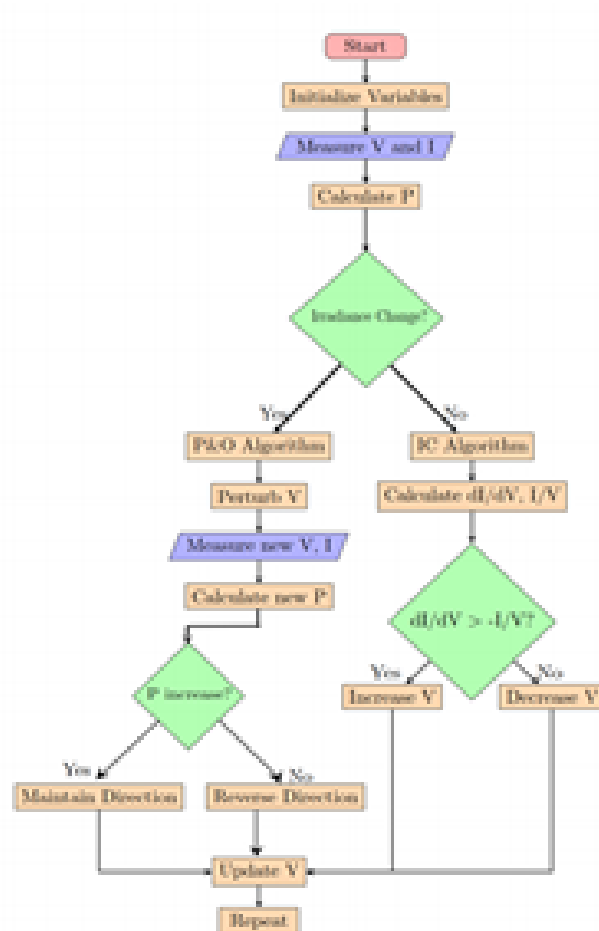
1. Титульний аркуш
2. Перелік графічного матеріалу.
3. Актуальність теми. Мета та завдання роботи
4. Структура гібридної швидкісної зарядної станції.
5. Схема системи керування та алгоритм Hybrid MPPT.
6. Робота мережевого інвертора
7. Аналіз режимів роботи зарядної станції
8. Висновки

Структура гібридної швидкісної зарядної станції

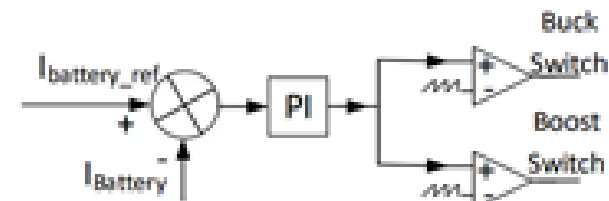


Запропонована система містить фотоелектричну установку потужністю 125 кВт, систему накопичення енергії, мережевий інвертор та чотири зарядні пости для електромобілів.

Система керування та алгоритм Hybrid MPPT



Блок-схема запропонованого гібридного алгоритму MPPT

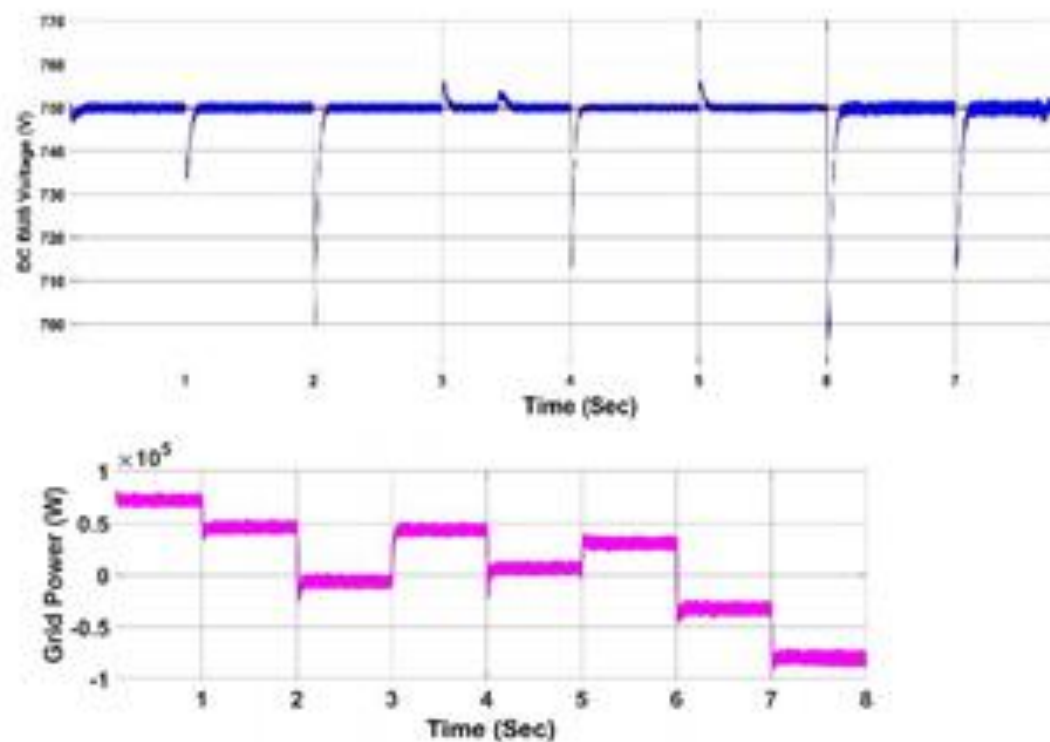


Контур керування акумуляторною батареєю

Керуючий сигнал формується на основі еталонного значення струму батареї, яке надходить від системи керування зарядною станцією (СМЗ). Для регулювання струму використовується пропорційно-інтегральний (PI) регулятор, який обчислює сигнал керування на основі різниці між заданим та фактичним значеннями струму акумуляторної батареї.

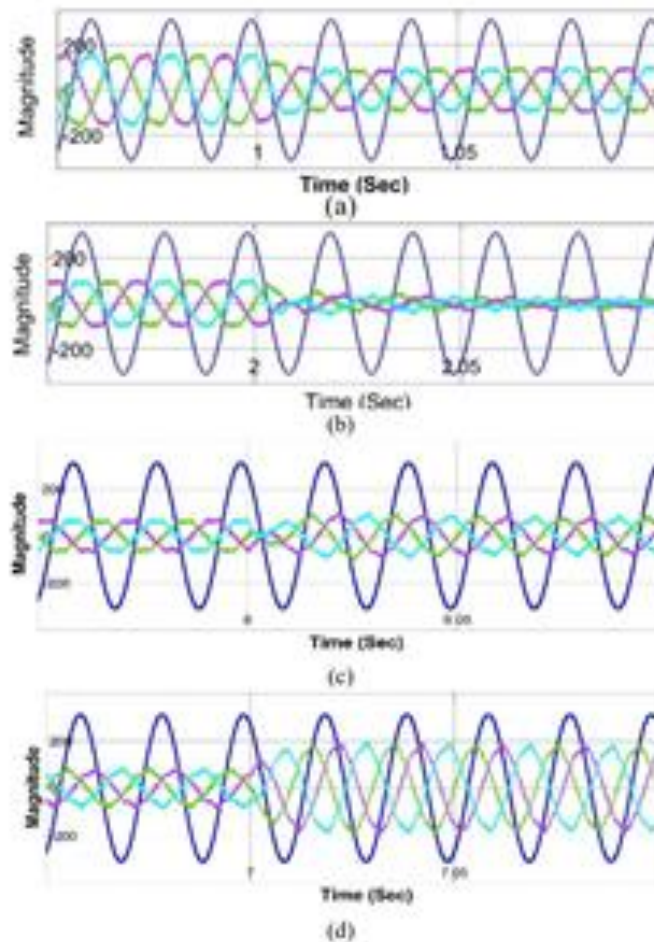
Для підвищення ефективності використання сонячної енергії застосовано гібридний алгоритм MPPT, який поєднує методи Perturb and Observe та Incremental Conductance.

Робота мережевого інвертора



Результати моделювання показують, що мережевий інвертор ефективно підтримує баланс потужності та забезпечує стабільну напругу DC-шини з мінімальними перехідними відхиленнями

Аналіз режимів роботи зарядної станції



За результатами моделювання встановлено, що система забезпечує стабільну роботу за різних режимів навантаження та змін сонячної інсоляції. Мережевий інвертор формує синусоїдальний струм з коефіцієнтом потужності, близьким до одиниці.

Осцилограми трифазних струмів мережі та напруги фази А:

- а) режим передачі енергії до мережі;
- б) режим нульового обміну потужністю;
- в) зміна напрямку потоку потужності;
- г) режим споживання енергії з мережі

Висновки:

- Проаналізовано структуру та принцип роботи гібридної швидкісної зарядної станції електромобілів.
- Досліджено роботу гібридного алгоритму MPPT, що забезпечує ефективне використання сонячної енергії.
- Виконано аналіз енергетичного балансу системи та режимів роботи BESS.
- Встановлено, що мережевий інвертор забезпечує стабільність напруги DC-шини та двонаправлений обмін енергією з мережею.
- Результати моделювання підтвердили ефективність застосування фотоелектричної системи та накопичувача енергії у складі швидкісної зарядної станції.
- Розроблено заходи з охорони праці під час монтажу та налагодження електронної частини зарядної станції.