

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А

Рівень вищої освіти – другій (магістерський) рівень

на тему: **„ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ DC-
DC ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ
ПОТУЖНІСТЮ 16 МВт ТЗОВ «ФАВОРИТ-АГРО» м. КОРЕЦЬ
РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ»**

Виконав: студент 6 курсу групи Ен-61
Спеціальності 141 „Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка”
(шифр і назва)

Шляхетка Василь Андрійович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Коробка С. В. .
(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: _____
(Прізвище та ініціали)

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
" ____ " _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту
Шляхетці Василю Андрійовичу

1. Тема роботи: "Обґрунтування параметрів та режимів роботи DC-DC перетворювача для сонячної електростанції потужністю 16 МВт ТЗОВ «Фаворит-Агро» м. Корець Рівненської області"

Керівник роботи: Коробка Сергій Васильович, к.т.н., доцент
Затверджена наказом по університету від від 28.04.2023 року № 133/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 30.11.2023 року.

3. Вихідні дані: Навчальна, наукова, методична та довідкова література. Матеріали мережі "Internet".

4. Перелік питань, які необхідно розробити

4.1. Огляд сучасного стану проблеми роботи DC-DC перетворювача для сонячної електростанції потужністю 16 МВт

4.2. Розробка оптимального методу та системи керування режимами роботи DC-DC перетворювача для сонячної електростанції потужністю 16 МВт.

4.3. Експериментальне дослідження роботи DC-DC перетворювача для сонячної електростанції потужністю 16 МВт.

4.4. Охорона праці та довкілля.

4.5. Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання комбінованої автоматичної установки.

Висновки і пропозиції

Список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Ілюстрації до доповіді виконані у формі презентації.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 5	Коробка С. В. к.т.н., доцент, доцент кафедри енергетики			
4	Городецький І. М. к.т.н., доцент, доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 04.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Огляд сучасного стану і проблеми роботи DC-DC перетворювача для сонячної електростанції потужністю 16 МВт	4.09.2023 – 21.09.2023	
2	Розробка оптимального методу та системи керування режимами роботи DC-DC перетворювача для сонячної електростанції потужністю 16 МВт.	22.09.2023 – 29.09.2023	
3	Експериментальне дослідження роботи DC-DC перетворювача для сонячної електростанції потужністю 16 МВт.	02.10.2023 – 13.10.2020	
4	Охорона праці та довкілля.	16.10.2023 – 23.10.2023	
5	Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання комбінованої автоматичної установки.	24.10.2023 – 02.11.2023	
6	Завершення оформлення ілюстративної частини роботи	03.11.23 – 13.11.23	
7	Завершення роботи в цілому	14.11.23 – 30.11.23	

Студент _____ Шляхетку В. А.
(підпис)

Керівник роботи _____ Коробка С. В.
(підпис)

Обґрунтування параметрів та режимів роботи DC-DC перетворювача для сонячної електростанції потужністю 16 МВт ТЗОВ «Фаворит-Агро» м. Корець Рівненської області

Шляхетка В. А. Кафедра енергетики – Дубляни, Львівський НУП, 2023.

Кваліфікаційна робота: 56 с. текстової частини, 17 рис., 8 таблиць, 26 джерел, 10 слайдів в PowerPoint.

Обґрунтовано ефективність роботи сонячної електростанції потужністю 16 МВт і розроблено конструкцію та встановлено оптимальні конструктивно-технологічні параметри DC-DC перетворювача, що дає можливість в два рази зменшити затрати енергоресурсів на енергопостачання об'єкту житлової інфраструктури для умов м. Корець Рівненської області. Крім цього, було здійснено огляд сучасного стану проблеми роботи DC-DC перетворювача для сонячної електростанції. Розроблено оптимальний метод та системи керування режимами роботи DC-DC перетворювача. Виконано експериментальне дослідження роботи DC-DC перетворювача в поєднанні з різними фотомодулями.

Проаналізовано охорону праці та довкілля під час роботи DC-DC перетворювача для сонячної електростанції потужністю 16 МВт.

Здійснено техніко-економічну оцінку ефективності під час використання розробленого DC-DC перетворювача для сонячної електростанції потужністю 16 МВт.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ І ПРОБЛЕМИ РОБОТИ DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПОТУЖНІСТЮ 16 МВт.....	8
1.1 Перехід між автономною та підключеною до мережі сонячною фотоелектричною енергією Мікросітки.....	8
1.2 DC-DC контролер для фотоелектричної системи 16 МВт.....	10
1.3 Чисельне моделювання середнього значення в просторі станів робочих шин DC-DC перетворювачів в DCM і CCM.....	15
1.4 Обґрунтування актуальності теми роботи.....	18
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ РОБОТИ ВХІДНОГО КОНДЕНСАТОРА В DC-DC BOOST ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ПОТУЖНІСТЮ 16 МВт.....	19
2.1 Аналіз роботи вхідного конденсатора в DC-DC BOOST перетворювача для фотоелектричних систем потужністю 16 МВт.....	19
2.2 Методика розрахунку DC-DC BOOST перетворювача для фотоелектричних систем потужністю 16 МВт.....	24
2.3 Результати та аналіз розрахунку DC-DC BOOST перетворювача для фотоелектричних систем потужністю 16 МВт.....	29
РОЗДІЛ 3. ДИЗАЙН І КОНЦЕПЦІЯ ПЛАТФОРМИ DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ПОТУЖНІСТЮ 16 МВт.....	34
3.1 Дизайн і концепція платформи, яка дозволяє підключати різні сонячні панелі і навантаження через DC-DC понижуючий перетворювач.....	34
3.2 Параметри дослідного макету сонячної фотоелектричної системи потужністю 16 МВт.....	37
3.3 Понижуючий конвертер дослідного макету сонячної фотоелектричної системи потужністю 16 МВт.....	39
3.4 Навантажувальна система для заряджування акумуляторної батареї в дослідному макеті сонячної фотоелектричної системи потужністю 16 МВт.....	41
3.5 Дослідний макет сонячної фотоелектричної системи потужністю 16 МВт.....	42
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ.....	47
4.1 Організація роботи служби з охорони праці та довкілля.....	47
4.2 Протипожежна безпека і грозозахист.....	48
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ DC- DC ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ПОТУЖНІСТЮ 16 МВт.....	49
5.1 Обґрунтування економічної ефективності застосування DC-DC перетворювача для фотоелектричних систем потужністю 16 МВт.....	49
ВИСНОВКІ І ПРОПОЗИЦІЇ.....	52
ПОСИЛАННЯ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

ВСТУП

З постійним виснаженням традиційних джерел енергії, зміною клімату та збільшенням забруднення рівні, стала популярною така альтернатива, як відновлювані джерела енергії. За останні 200 років попит на енергію задовольнявся за рахунок не відновлюваних джерел, таких як вугілля, природний газ і нафта. З постійним наростанням попиту на енергію, світові ресурси нафти, природного газу та вугілля будуть вичерпані до кінця століття.

В даний час Європейський Союз прагне скоротити викиди парникових газів на 95% до 2050 року [1]. Одне рішення полягає у збільшенні використання технологій відновлюваної енергії. За останні 20 років сонячна фотоелектрична (PV) суттєво зросла [2, 3]. Безперервна вартість скорочення та стимули з боку уряду є деякими факторами, які сприяють застосуванню цієї технології [2, 4–11]. Крім того, вони також мають нижчу вартість встановлення та нижчу вартість обслуговування з іншими відновлюваними джерелами [4], [12–19]. В Україні, наприклад, сонячні фотоелектричні системи варіюються за розміром від невеликих автономних систем до великомасштабних енергосистем, підключених до мережі [1]. По над 80% державної підтримки та 8 ГВт сонячної фотоелектричної енергії, що розгортається в країні, сонячна енергетика заробляє популярність. Впровадження щороку зростає на 150 000 будинків у країні. Тенденція очікувана призведе до того, що до 2030 року 4 мільйони домогосподарств України будуть працювати на сонячній енергії [20]. Так вважають багато експертів що до 2030 року світовий попит на електроенергію можна буде забезпечити лише за рахунок відновлюваних джерел енергії [21].

Незважаючи на зростаючу тенденцію з точки зору встановлення, у всьому світі сонячні фотоелектричні установки зробили лише незначний внесок частка виробництва енергії – приблизно 2,1% від світової потреби в електроенергії [2]. У різних частинах світу, особливо в країнах, що розвиваються, вартість встановлення сонячних фотоелектричних систем вища, ніж звичайних джерел електроенергії [5, 7], хоча не має витрат на паливо [22]. Було проведено багато досліджень підвищення ефективності існуючих сонячних батарей, яке на даний

момент можна вважати помірним. Тому, інші дослідники також намагалися максимізувати захоплення енергії шляхом оптимізації ефективності перетворення фотоелектричної системи. Перетворювач DC-DC є одним з ключових компонентів системи, де висока ефективність і низькі пульсації вихідної напруги є ключовими параметрами, які повинні бути задоволені на етапі проектування перетворювача.

Ця робота буде зосереджено на проектуванні та моделюванні перетворювачів DC-DC для використання в житлових сонячних фотоелектричних системах. Раніше автори представили керування режимом напруги (VMC) як потенційне рішення [23], і метод продемонстрований у [24]. З моделювання [23] було виявлено, що перехідна характеристика була критично демпфированою і також було помічено відсутність перерегулювання. Вихід пульсації напруги були значно зменшені з 80 мВ до 56 мВ, що було досягнуто без реалізації додатковий конденсатор [23]. Метод VMC також зменшив час осідання на 0,6 с [23]. За допомогою буде аналізу сюжету, оцінено схему компенсатора та визначено параметри стійкості основної системи визначені та записані, досягаючи нескінченного підсилення та фазового запасу 80%. Модель в [23] все ще вважається такою, що має повільний перехідний відгук. Отже, ця робота представляє альтернативу технічному рішенні VMC – за допомогою техніки контролю режиму струму (СМС) з цілями зменшення час відгуку на перехідний процес.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ І ПРОБЛЕМИ РОБОТИ DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПОТУЖНІСТЮ 16 МВт

1.1 Перехід між автономною та підключеною до мережі сонячною фотоелектричною енергією Мікросітки

У цьому дослідженні сонячна фотоелектрична мікромережа є стійка енергетика та ефективність системи, вивчається під різні конфігурації. Сонячні модулі, накопичувачі енергії (акумулятор), перетворювачі силової електроніки використовуються для перевірки бажані результати. Вивчення автономних систем підключених до мережі буде проаналізовано та налаштовано для стабільної роботи системи. В автономне налаштування, напруга та частота є ключовими параметри, які необхідно контролювати та оцінювати на належність робота мікросітки.

Крім того, конфігурація підключення до мережі буде вивчено, а потім обидві системи будуть разом за допомогою механізму перемикання. Метою є розвиток контролю система, яка забезпечує перехід між двома конфігураціями. Мікросітка моделюється та тестується за допомогою MATLAB/Simulink платформа. Мета полягає в тому, щоб створити плавний перехід системи з механізмами управління різними режимами роботи мікросітки.

Серед інших відновлюваних джерел у сфері електроенергетики виробництво сонячної фотоелектричної (PV) електроенергії стає важливою складовою зеленої енергетики виробництва. Їх функція масштабованості дозволяє використовувати сонячну фотоелектричну енергію мікромережі, щоб діяти, як зручний розподілений вид енергії для постачання електроенергії невеликим громадам, а також більшим області споживачів на сьогодні. Ці системи можуть працювати автономно, як самостійний режим або шляхом комбінування з основною електромережею, вони можуть працювати в мережі-підключена робота для направленою потоку електроенергії. Через погодні

умови, генерація PV є періодичною розглядається, як нерегулярне джерело живлення, яке є одним із основних недоліків. Щоб розібратися з цим питанням, максимум відстеження точки живлення (MPPT) при інтеграції з PV система, дозволяє отримати максимальну потужність. Крім того, використання сховища може підтримувати стабільність усієї системи за динамічної поведінки та змінних умов [1, 2].

Компоненти силової електроніки, такі як AC-DC, DC-AC і перетворювачі DC-DC, необхідні для сонячних фотоелектричних мікромереж з системами зберігання енергії для взаємодії з електрикою система живлення. DC-DC перетворювачі в основному використовуються для генерації енергії, наприклад, для посилення сонячної енергії. Фотоелектричне живлення за допомогою MPPT або керування двох напрямленим живленням потік в системі керування акумулятором.

З іншого боку, AC-контролери постійного струму або інвертори можна використовувати в мережі системи та живлять навантаження змінного струму, керуючи частоти та напруги [3, 4, 5]. Мікромережі вимагають важливих методів контролю для виконання стабільність і динамічна поведінка потоку потужності по всій системі. Зазвичай типова мікросітка виконує багато завдань, наприклад, підтримує систему балансування при підключенні до основної мережі та автономне перемикання в автономний режим. Поки ці режими діють, динамічний баланс і стійкий стан потоку потужності в системі дуже важливий, щоб збалансувати всю систему з плавними виходами та параметри. Перебуваючи в режимі підключення до мережі, експлуатація часто проста, оскільки присутня основна сітка визначити будь-який дефіцит або надлишок потужності. У той час, як проблема в основному полягає в автономному режимі, як у цілому система спирається на розподілені джерела енергії.

Отже, фотоелектрична енергія значною мірою залежить від факторів навколишнього середовища підтримка стабільного потоку електроенергії є головним недоліком.

Автономне перемикання з мережевого режиму на автономний режим може створити кілька спотворень сигналів. Отже, у більшості випадків є ручне перемикання бажано з деякими незначними змінами керування працювати в гладкий порядок. У цьому дослідженні система мікросітки пропонується, як для збалансованого навантаження, так і для автономної комутації з мінімальними втратами або спотвореннями використання механізму кращої продуктивності [6].

1.2 DC-DC контролер для фотоелектричної системи 16 МВт

Типова фотоелектрична система перетворює величезну та чисту сонячну енергію в електрику. Оскільки DC є формою виведення з PV, як правило, DC-DC перетворювач пов'язаний на виході стороні фотоелектричного модуля. Це ланцюг підвищення постійного струму реалізовано так, як цей DC-DC перетворювач є односпрямованим [7]. Завдяки цьому не тільки знижується або підвищується напруга, а й процедура відстеження точки максимальної потужності (MPPT) [8].

Керування поточним режимом (СМС) пропонує вдосконалення VMC. Використовується додаткова внутрішня петля, як показано на рис. 1.1. Внутрішній контур контролює струм індуктора і є швидшим, ніж зовнішній контур напруги [25].

Використовуючи VMC, індуктивність змінюється залежно від вхідної напруги. Робочий цикл зменшується зі збільшенням вхідного сигналу, що спричиняє підвищення ефективна індуктивність, що робить відгуки петлі повільнішими. Після входу або навантаження перехідний індуктор у VMC потрібно ще кілька циклів, щоб досягти нового стабільного рівня. При використанні СМС індуктивність не є частиною функція передачі DC-DC перетворювач. Це усуває проблему, яка виникає у VMC. Двополюсний фільтр другого порядку зменшено до однополюсного фільтра першого порядку. Таке вдосконалення дозволяє спростити компенсаційні мережі. Напруги генерується

шляхом вимірювання струму індуктора. Зазвичай це досягається за допомогою підсилювача струму, що показано на рис. 1.2. Щоб уникнути втрат, чутливий резистор повинен мати низьке значення.

Відчуваний струм потім перетворюється на пропорційне змінення напруги, що подається на вхід компаратора.

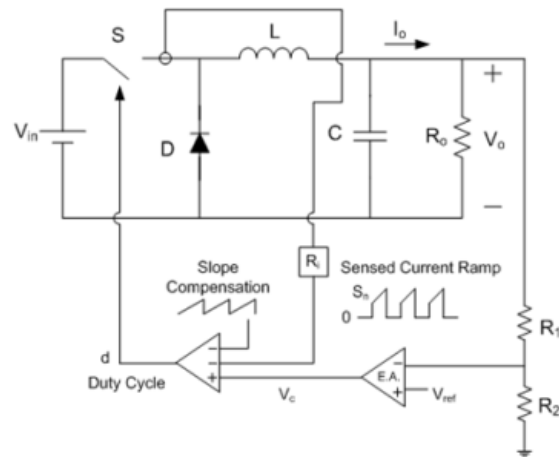


Рисунок 1.1 – Керування поточним режимом [6]

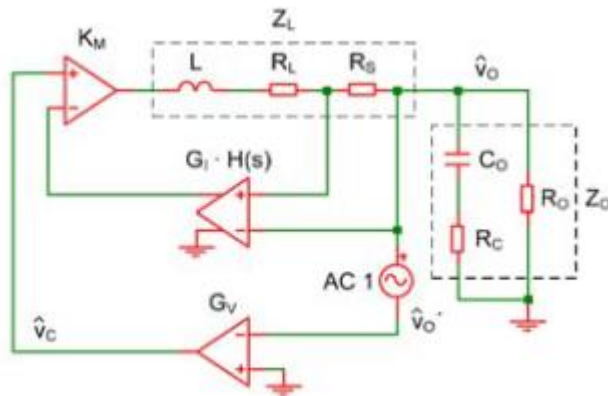


Рисунок 1.2 – Спрощене представлення циклу [2, 5]

СМС – це керування режимом пікового струму (рис. 1.3). Висхідний схил струм індуктора порівнюється з напругою підсилювача помилки V_c . Як тільки струм індуктивності перевищує V_c імпульс робочого циклу стає нульовим. Після цього головний вимикач буде вимкнено, доки не прийде наступний тактовий імпульс.

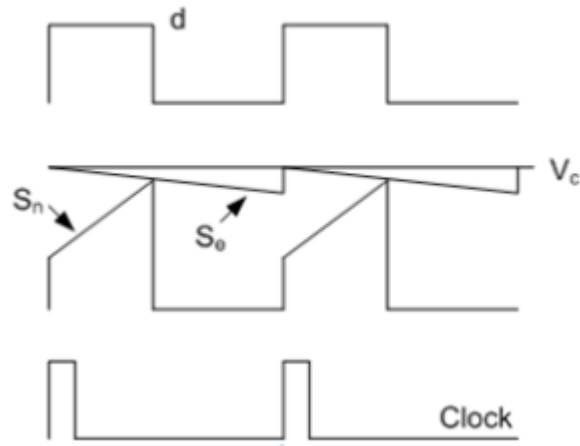


Рисунок 1.3 – Форми сигналів модулятора керування режимом пікового струму [26].

Конструкцію контуру струму можна побачити, використовуючи спрощену схему на рис. 1.2. Установка функція передачі в цьому випадку стає:

У зоні розташування метеорологічної станції за даними середнього багаторічного надходження сонячної енергії щомісяця протягом року розрахунок проводиться за формулою

$$I = \sum I_i \text{ або } I = \sum (I_{ni} + I_{oi}), \quad (1.1)$$

де I_i – середнє багаторічне надходження сонячної радіації на одиницю горизонтальної поверхні за i -й місяць року;

I_{ni} – середнє багаторічне надходження прямого потоку сонячної радіації на одиницю горизонтальної поверхні за i -й місяць року;

I_{oi} – середнє багаторічне надходження розсіяного потоку сонячної радіації на одиницю горизонтальної поверхні за i -й місяць року;

i – поточний місяць року.

Технічно-досяжний потенціал сонячної енергії регіону – це середня багаторічна сумарна енергія, що може бути отримана в регіоні від сонячного випромінювання протягом одного року при сучасному рівні розвитку науки і техніки та при дотриманні екологічних норм.

Технічно-досяжний потенціал сонячної енергії регіону являє собою суму технічно-досяжних потенціалів складових його зон.

Технічно-досяжний потенціал електричної енергії від сонячного випромінювання визначається за формулою

$$W_{m\delta e} = \Sigma W_{m\delta ei} , \quad (1.2)$$

де $W_{m\delta ei}$ – технічно-досяжний потенціал електричної енергії від сонячного випромінювання i -го місяця:

$$W_{m\delta mi} = I_i \cdot k_e \cdot S \cdot \eta \cdot [1 - \chi \cdot (t_{\phi ni} - t_{stc})] \cdot \cos \beta \cdot T_{ci} , \quad (1.3)$$

де k_e – частка площі доцільна для установки фотоелектричних панелей;

η – коефіцієнт корисної дії фотоелектричної панелі (вибирається із каталогу фотопанелей), зазвичай знаходиться в межах $\eta = 11 \dots 16 \%$.

χ – показник втрат потужності, викликаний зміною температури фотоелектричної панелі, $\chi = 0,4 \text{ \%}/^\circ\text{C}$;

$t_{\phi ni}$ – середньомісячна температура фотоелектричної панелі за поточний місяць, $^\circ\text{C}$;

t_{stc} – температура фотоелектричної панелі в тестових умовах згідно стандарту STC, $t_{stc} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Середньомісячна температура фотоелектричної панелі за поточний місяць яка визначається за формулою

$$t_{\phi ni} = t_{nc} - 0,0034 \cdot I_i , \quad (1.4)$$

де t_{nc} – середньомісячна температура навколишнього середовища в період роботи фотоелектричної панелі, $^\circ\text{C}$.

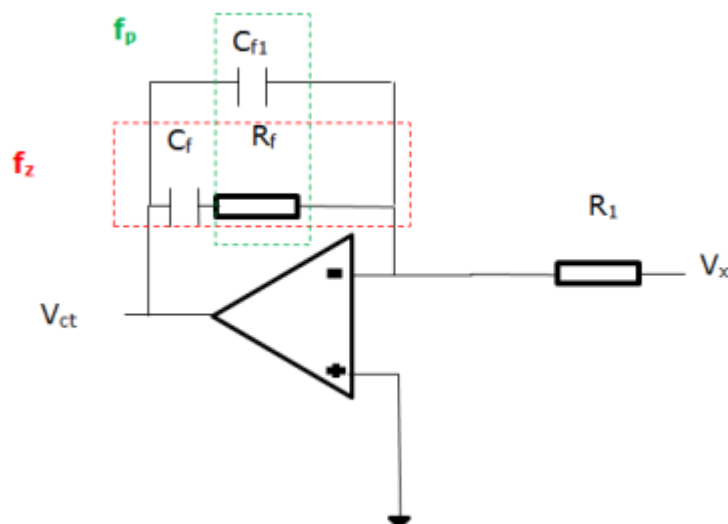


Рисунок 1.3 – Підсилювач помилок СМС з компенсацією типу 2 C_{f1}

Це дозволяє знайти C_{f1}

$$C_{f1} = \frac{1}{2\pi R_f f_z} \quad (1.5)$$

Під час аналізу встановлено, що нам необхідно вдосконалити конструкцію перетворювача DC-DC для житлових сонячних фотоелектричних установок. Пропонується, що СМС забезпечує кращу продуктивність, ніж метод VMC. Це можна досягнути модифікацією перетворювача VMC і введенням додаткової петлі визначення струму. Модифікований тип 2 схема компенсації використовується для забезпечення бажаної продуктивності. Схема СМС необхідно буде змоделювати за допомогою програмного забезпечення LT SPICE. Зменшення часу реакції на перехідні процеси можливо буде ключовою перевагою цього вдосконалення конструкція перетворювача DC-DC, де час встановлення скорочується до 1,2 с незалежно від змін на вході та виході для змін у перетворювачі напруги живлення, СМС продемонстрував зворотну ситуацію порівняно з випадком VMC.

Високі пульсації вихідної напруги з'являлися при нижчих рівнях вхідної напруги та зменшувалися зі збільшенням напруги живлення. СМС, як і VMC, також виграв від критично демпфованої перехідної характеристики. Щоб забезпечити задовільну продуктивність, необхідно буде врахувати деякі зміни початкового дизайну. Потреба в згладжуючих конденсаторах для зменшення пульсацій вихідної напруги. Результат навіть з додаванням конденсатора демонструють невелике збільшення на 4 мВ пульсацій на виході для змін навантаження порівняно з VMC. Ефективний контроль вихідні пульсації мають важливе значення для запобігання зниженню виходу фотоелектричної панелі. Проектування схеми компенсатора також вимагає певного перегляду. Для досягнення прийняттого результату необхідний додатковий нуль. Стабільність – здається, сильно впливають порівняно з VMC. Запас по фазі нижчий на 9° , а посилення нижчий на 30 дБ. Вся двоконтурна схема компенсації є більш складною, ніж VMC. Тим не менш, запропонована техніка керування забезпечує покращену продуктивність, демонструючи її перевагу над VMC.

Таким чином, це додатне рішення буде враховано в наших дослідженнях та розглянуто більш детально в слідую чому розділі кваліфікаційної роботи для сонячних фотоелектричних систем.

1.3 Чисельне моделювання середнього значення в просторі станів робочих шин DC-DC перетворювачів в DCM і CCM

Моделювання середнього значення ширини імпульсу в просторі станів перетворювачі модуляції в безперервному і переривчастому режимах приділено значну увагу в різноманітній літературі були розроблені моделі. Ця кваліфікаційна робота представляє новий підхід для створення моделі середнього значення в просторі станів. У запропонованій методології, так зване обмеження коефіцієнта імпульсу шин DC-DC та термін корекції витягується чисельно за допомогою детального моделювання і виражаються, як нелінійні функції обов'язку цикл і середнє значення швидкої змінної стану.

Паразитарний ефекти елементів схеми легко включені. Отриманій моделі середнє значення порівнюється з апаратним прототипом, а детальне моделювання та кілька раніше опублікованих моделей. Показано, що запропонована модель дуже точна для прогнозування перехідні процеси у часовій області великого сигналу, а також малого сигналу характеристики частотної області. Тому детальні моделі, в яких перемикання кожного силового електронного пристрою, може бути легко побудовані та реалізовані з використанням різних комерційно доступних пакетів програмного забезпечення моделювання та набори інструментів. Однак, так звані моделі середнього значення, в яких ефекти швидкого перемикання нехтують або «усереднюють» по відношенню до прототип них інтервалах перемикання, часто потрібні, коли дослідження систем на базі силової електроніки [1, 2, 3], є безперервні моделі великого сигналу (перехідні) зазвичай не є лінійний і може бути лінеаризований навколо бажаної робочої точки. Багато програм моделювання пропонують автоматичну лінеаризацію та подальші інструменти аналізу

простору станів та/або частотної області [4, 5]. Після цього відбувається отримання локальної передатної функції проста і практично миттєва процедура.

Це було показано в [6], що асимптотична стійкість модель середнього значення та детальна схема перемикавання еквівалент. Тому розраховані передатні функції можуть використовуватися для розробки контролерів. Крім того, середнє значення моделі зазвичай виконуються на порядки швидше, ніж відповідні детальні симуляції, що робить їх ідеальними для представлення відповідних компонентів у дослідженнях системного рівня.

Багато методів усереднення базуються на конкретному ідеалі топології та кусково-лінійної (трикутної) форми сигналу струму та/або напруги. Подібний підхід до усереднення, так зване моделювання вибіркового даних враховує змінний у часі дискретний характер перетворювачів [7 – 10]. Це підхід розглядає поведінку циклу за циклом і пригнічує внутрішні деталі в циклі перемикавання [11]. однак, оскільки базові моделі вибіркового даних нехтують динамікою зміни стану між екземплярами вибірки, неточність виникає при прогнозуванні високочастотної динаміки [12, 13]. AV-моделювання вікової вартості також часто виконується шляхом усереднення комутаційна мережа та/або її елементи. Цей підхід відомий, як усереднення схеми або моделювання усередненого перемикавання [14 – 17]. В цей та подібні підходи [18 – 20], елементи перемикавання в комутаторі замінюються на відповідні керовані джерела.

Інший системний підхід, який часто називають усереднення простору станів передбачає маніпулювання простором станів рівняння (матриці) системи перетворювача. Аналітичний виведення цього методу базується на заданому режимі роботи, як безперервні або переривчасті, так і на дрібні апроксимації [21, 22]. Хоча врахування ідеальних компонентів/компонентів без втрат значно спрощує розробку моделі, нехтуючи паразитні ефекти в усереднених моделях іноді можуть призводити до невдачі в прогнозуванні швидко масштабних не стабільностей [23]. Паразитичні також розглядаються на етапі проектування, коли продуктивність, розглядається, як ефективність і надійність системи [24].

Паразити часто моделюють, як відповідні еквівалентні ряди опори (ESR), пов'язані з компонентами схеми, якщо враховувати втрати через перемикач та/або індуктор аналітичні висновки стають більш складними. Стаціонарний і слабкий аналіз імпульсних перетворювачів з паразитами досліджувалися в [2, 5, 2, 7]. Великий сигнал усереднену модель можна знайти в [2, 8], де розглядаються деякі але не всі паразити. Аналітична деривація також стає більше складно, коли кількість елементів накопичення енергії є швидко змінна стану утримується на відмінному від нуля рівні постійне значення в межах розривного під інтервалу.

Таким чином, в кваліфікаційній роботі необхідно запропонувати новий метод побудови середнього значення представлення моделі. Властивості запропонованої моделі і внесок кваліфікаційної роботи можна підсумувати таким чином.

- По-перше, показано, як традиційний простір режимів роботи шин DC-DC рівняння можна виправити, щоб включити швидко динаміку змінних розривного стану. На відміну від багатьох раніше виведених моделей, запропонована модель чисельно будується з використанням виправлення та формулювання простору станів і детальна модель досліджуваний перетворювач DC-DC.

- Запропонована модель може бути використана в безперервних і перервних режимах без спеціального врахування граничний режим або перехід між режимами.

- Пропонована методологія демонструється на посиленні конвертер і може застосовуватися до інших топологій. Крім того, модель має чітко визначену структуру, яка забезпечує основу для подальшої автоматизації підходу.

- Отримана усереднена модель є нелінійною, явною, безперервний і дійсний для перехідних процесів із великим сигналом, а також для лінеаризації та характеристики малого сигналу.

- Будь-які паразити, присутні в детальній моделі, є автоматичними і включено в остаточну усереднену модель без повторно, що вимагає обшириних аналітичних виводів.

- Запропонована модель порівнювалася з більшістю є актуальна та опублікована усереднена модель простору станів [1], а також кілька інших раніше опублікованих моделей [6], [7], [8], [12], [13].

Тому під час обґрунтування моделі режимів роботи DC-DC перетворювача для сонячної електростанції потужністю 16 МВт необхідно створювати точність моделі середнього значення, яка має бути перевірено, як у часовій області, так і в частотній основний проти апаратного прототипу, детально і кілька звичайних аналітичних похідних середньо вартісні моделі.

1.4. Обґрунтування актуальності теми роботи

Метою дослідження – підвищення ефективності роботи сонячної електростанції потужністю 16 МВт на підставі розробки конструкції та обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів DC-DC перетворювача, що забезпечить зменшення затрат енергоресурсів для умов м. Корець Рівненської області.

Відповідно до поставленої мети сформульовано наступні завдання дослідження:

1. Здійснити огляд сучасного стану проблеми роботи DC-DC перетворювача для сонячної електростанції потужністю 16 МВт

2. Розробити оптимальну методу та системи керування режимами роботи DC-DC перетворювача для сонячної електростанції потужністю 16 МВт.

3. Провести експериментальне дослідження роботи DC-DC перетворювача для сонячної електростанції потужністю 16 МВт.

4. Проаналізувати охорону праці та довкілля під час роботи DC-DC перетворювача для сонячної електростанції потужністю 16 МВт.

5. Провести техніко-економічну оцінку ефективності використання DC-DC перетворювача для сонячної електростанції потужністю 16 МВт.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ РОБОТИ ВХІДНОГО КОНДЕНСАТОРА В DC-DC BOOST ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ПОТУЖНІСТЮ 16 МВт

2.1 Аналіз роботи вхідного конденсатора в DC-DC BOOST перетворювача для фотоелектричних систем потужністю 16 МВт

Фотоелектричні системи (ФС) стали новою сферою виробництва електроенергії за допомогою відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), щоб подолати використання традиційних горючих видів палива та масовий викид небезпечних газів. Ефективна робота фотоелектричної системи є життєво важливою для вилучення максимальна потужність від фотоелектричного джерела. Для цього використовується алгоритм відстеження точки максимальної потужності (MPPT), працює з перетворювачем постійного струму для отримання максимальної потужності від ФС система. Два головних питання може виникнути із залученням перетворювача: (2.1) для визначення місцезнаходження М.Р.Р та (2.2) продуктивності моделі ФС в різних погодних умовах. Таким чином, проектування будь-якого коефіцієнта посилення перетворювача має максимальне значення значущість; таким чином, запропонована робота стосується неізолюваних підвищувальних перетворювачів. Для розрахунку значень конкретні параметри, такі як вхідний конденсатор, вихідний конденсатор і котушка індуктивності, простір станів усереднення моделювання зазвичай використовує керівні рівняння.

У цьому дослідженні формула вхідного конденсатора отриманий через усереднене моделювання простору станів підвищувального перетворювача, що означає співвідношення між вхідним і вихідним конденсаторами. За результатами було доведено, що вхідний конденсатор ефективно працює, коли вхідний конденсатор становить половину вихідного конденсатора. На рівні опромінення 1000 Вт/м^2 , система демонструє стабільну поведінку з швидкою швидкістю збіжності $0,00745 \text{ с}$ до тих пір, поки опромінення падає до значення 400 Вт/м^2 . Система менш стабільна протягом ранку та увечері, коли рівень

освітлення дуже низький. Дві основні стратегії можуть досягти відстеження максимальної потужності: встановлення апаратного забезпечення для відстеження сонця, а по-друге, за допомогою програмного забезпечення у поєднанні з мікроконтролером для автоматичного відстеження сонця у співпраці з силова електроніка [4]. Перетворювачі, які в основному використовуються в М.Р.Р. системи є понижуючими [5]. Однак перетворювач частіше використовується в додатках на основі ФС і це запропоноване дослідження є підвищуючим перетворювачем через його кращу стабільність та ефективність [6]. Є деякі інші цілі, для яких відстеження точки максимальної потужності (MPPT) використовує DC–DC конвертер. Наприклад, він буде відповідати опору навантаження для регулювання ФС модулі входних напруг і отримати максимальну передачу потужності [7]. Можна зменшити похибку в стаціонарному стані та перехідну характеристику ФС система через належне проектування та математичне моделювання перетворювача. Крім того, ФС час встановлення системи залежить від робочого циклу та може бути змінений зміною шпаруватість комутаційних апаратів. Запропонована конструкція підвищувального перетворювача може покращити вихідну напругу вранці або ввечері, коли падіння сонячного випромінювання низьке. Крім того, підвищувальний перетворювач містить конструкцію котушки індуктивності та конденсатора та їх пов'язані параметри. Через незалежність автономної системи від мережі [8]. Крива фотоелектричної панелі показана на рисунку 2.1. Рівень опромінення змінюється від 1000 Вт/м^2 до 200 Вт/м^2 на $25 \text{ }^\circ\text{C}$ і P_{max} .

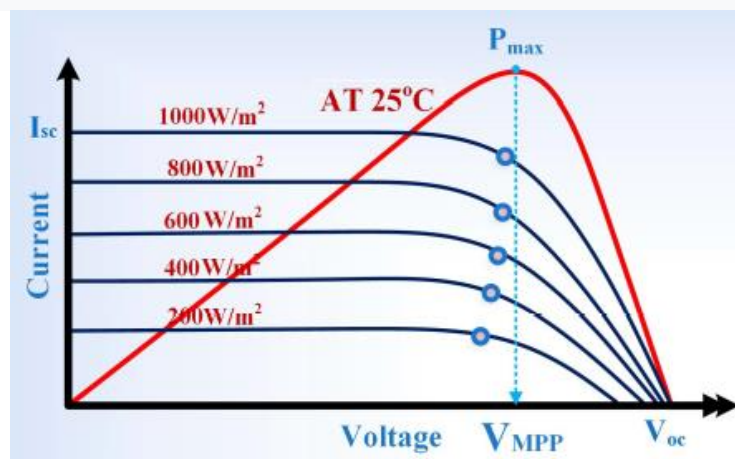


Рисунок 2.1 – Характеристики I-V і P-V.

Підвищувальні перетворювачі постійного струму DC-DC широко використовуються у фотоелектричних (ФС) системах, оскільки вони можуть ефективно підвищити напругу вхідного сигналу. Вхідний конденсатор є важливим компонентом підвищувального перетворювача, оскільки він накопичує енергію та згладжує вихідну напругу.

Коли перемикач перетворювача замкнений, вхідний конденсатор заряджається, а коли перемикач розімкнено, конденсатор розряджає свою енергію на виході. Це допомагає підтримувати постійну вихідну напругу. Кілька досліджень були зосереджені на проектуванні та аналізі вхідних конденсаторів в підвищувальних перетворювачах постійного струму для фотоелектричних систем [9]. Ці дослідження мають досліджувати вплив різних параметрів конденсатора, таких як ємність, еквівалентний ряд опір (ESR), еквівалентна послідовна індуктивність (ESL), номінальний пульсаційний струм і максимум номінальна напруга, на продуктивність перетворювача.

Важливе значення при виборі вхідного конденсатора для підвищувального перетворювача – це його ємність на одиницю об'єму. Цей параметр визначає, скільки енергії може зберігати конденсатор при заданому фізичному розмірі.

Електролітичні конденсатори мають вищу ємність на одиницю об'єму, ніж інші типи, наприклад керамічні і танталові конденсатори. Це робить їх хорошим вибором для фотоелектричних систем, де простір часто обмежений [10]. Ще один важливий параметр – ESR і ESL конденсатора. ШОЕ – міра опору внутрішніх компонентів конденсатора, тоді як ESL є мірою опору індуктивності внутрішніх компонентів конденсатора. Конденсатор з низьким ESR і ESL працюватиме краще в підвищувальному перетворювачі, оскільки він може швидше та ефективніше розряджати його енергію. Алюмінієві електролітичні конденсатори відомі тим, що мають відносно низький ESR і ESL, що робить їх гарним вибором для фотоелектричних систем. Номінальний струм пульсацій і максимальна напруга також є важливим параметром, який слід враховувати при виборі входу конденсатора для підвищувального

перетворювача в системі на основі ФС. Визначає номінальний струм пульсацій максимальний струм, який може витримувати конденсатор без перегріву [11].

З іншого боку, максимальна напруга показує, яку напругу має конденсатор може впоратися, перш ніж він зламається. Конденсатор зможе витримувати більше потужності та роботи надійніше, якщо його номінальний струм пульсацій і максимальна напруга.

Алюмінієві електролітичні конденсатори відомі тим, що мають високі пульсації струму і максимум напруги, що робить їх гарним вибором для фотоелектричних систем [13]. У дослідницькому світі було обговорено багато матеріалів щодо використовуваного підвищувального перетворювача у додатках на основі фотоелектричних пристроїв. Все-таки дискусія про критичний параметр, який є конструкція вхідного конденсатора, обмежена [14].

Багато дослідників намагалися визначити передавальної функції та використати вхідний конденсатор у передатній функції, але не вдалося визначити відповідне значення вхідного конденсатора. Підтримання постійного потоку струму до навантаження опору при збільшенні інтенсивності опору навантаження призводить до збільшення доступної потужності. Це підвищення напруги через зміну навантаження призводить до значного збільшення вироблена вихідна потужність. Але на практиці досягнення максимальної доступної потужності – це велике завдання проблема, тому що падіння сонячної радіації є кінцевим у винятково концентрованої області.

Під час цієї зміни навантаження М.Р.Р. відбудеться лише в одній точці. Ця умова буде виникати, коли значення оптимального опору навантаження (R.L) дорівнює опору джерела. Це є непросто вибрати точне значення статичного навантаження, яке відповідає цій умові. Тут необхідно звести цю проблему до мінімуму, щоб використовувати трекери максимальної потужності для отримання стан точки максимальної потужності. Якщо MPPT повністю або належним чином оптимізовано, він може видобувати (97%) фотоелектричної енергії. Істотне призначення максимум Power Point Tracker полягає в тому, щоб

прирівняти або узгодити оптимальний імпеданс модуля з опір навантаження [16, 17].

ФС робоча точка модуля залежить від імпедансу видимий модулем, тобто вхідний опір, коли перетворювач постійного струму розміщений між навантаження та модуль. Цей вхідний опір залежить від двох основних параметрів робочий цикл (d) і опір навантаженню ($R.L.$). Тепер вхідний опір (R_i) можна легко змінити шляхом зміни робочого циклу, щоб відповідати або прирівнювати оптимальний імпеданс в умовах навколишнього середовища. Існують деякі обмеження підвищувальних перетворювачів, які використовуються в ФС підвищувальний перетворювач можна використовувати, лише якщо опір навантаження (RL) менше або дорівнює повному опору модуль ($RMPP$), а за низького опромінення підвищувальний перетворювач не може відстежувати М.Р.Р. оскільки він вказує в неробочу область [21, 22]. Щоб розглянути вхідний конденсатор, понижуючий перетворювач потребує великого та значного значення конденсатора для стабілізації або згладжування переривчастості фотоелектричного струму.

Невеликий недорогий конденсатор може згладити ФС напруги і струму, тому що підсилення струм перетворювача такий же однорідний, як і струм його котушки індуктивності. Аналогічно, у випадку індуктора, топологія підвищення потребує більшої індуктивності, ніж топологія підвищення [23].

Проектування вхідного конденсатора для підвищувального перетворювача DC-DC методом мало сигнального моделювання одно діодної фотоелектричної панелі, підключеної до підвищувального перетворювача через вхідний конденсатор.

Аналіз перетворювача при різних рівнях опромінення шляхом зміни ємності вхідного конденсатора, щоб отримати співвідношення між вхідною та вихідною ємностями.

Аналіз стійкості перетворювача при різних значеннях вхідної та вихідної ємностей. Принципова схема підвищувального перетворювача DC-DC показана на рисунку 2.2. Тут фотоелектричне джерело підключається до навантаження

через перетворювач, щоб відповідати вимогам навантаження. Ефективні перетворювачі визначатимуть ефективність фотоелектричної панелі.

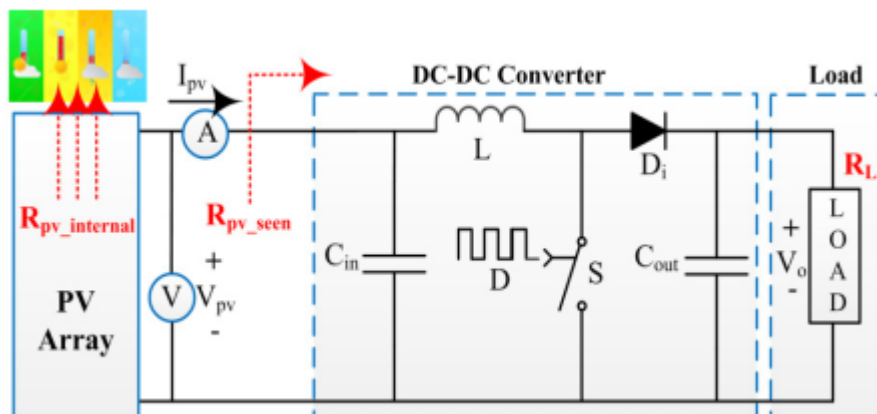


Рисунок 2.2 – Принципова схема підвищувального перетворювача DC-DC постійного струму з C_f .

Компоненти конструкції підвищувального перетворювача можна розробити за допомогою формул у таблиці 2.1, який представляє вихідні конденсатори та котушки індуктивності при коефіцієнті пульсацій 1%.

Таблиця 2.1 – Конструктивні параметри підвищувального перетворювача.

Компонент	Фактор пульсації	Компоненти формули	№ посилання
Вихідний конденсатор	1%	$C_{out} = \frac{V_o D}{2 \Delta V_{PV} R_L F_{SW}}$	[2]
Індуктор	1%	$L = \frac{V_{in} D}{\Delta I_{IN} F_{SW}}$	[2]

2.2. Методика розрахунку DC-DC BOOST перетворювача для фотоелектричних систем потужністю 16 МВт

Загальне рівняння моделі простору станів наведено в рівняннях (2.1) і

(2.2):

$$x' = Ax + Bu \quad (2.1)$$

$$y = Cx + Du \quad (2.2)$$

Ця система застосовується до лінійних диференціальних рівнянь і рівнянь першого порядку, а не до нелінійних. Тому, якщо в даній системі є якісь нелінійні компоненти, то опустіть їх нелінійні компоненти та розв'язати решту

системи. Це буде виконано перемикачем (ON-OFF), називається усередненням малого сигналу системи. У загальному рівнянні стану пробіл (x') представляє першу похідну, тобто dx/dt . Підвищувальний перетворювач буде працювати на двох режими перемикання, такі як:

1. Коли перемикач увімкнено.
2. Коли перемикач у вимкнуто.

1. Коли перемикач увімкнено. Силовий електронний пристрій працює в режимах ON і OFF. У режимі ON, як показано на рисунку 2.3 струм буде протікати через перемикач, а решта ланцюга буде відключений. На вхідній стороні П.В. масив, який є джерелом постійної напруги (ВПН), і D.C. (IPV) додаються. Струм буде проходити через індуктивність і конденсатор. Коли цей струм протікає через котушку індуктивності, індуктор буде під напругою, буде дві напруги на виході (напруга джерела та напруга індуктивності), і з'являться додаткові напруги на вихідній стороні. Аналогічно, коли цей струм проходить через конденсатор і він буде заряджено. Тому проведено математичне моделювання підвищувального перетворювача можна досягти за допомогою моделювання простору станів. На наступному кроці усереднення цих два рівняння простору станів і функція передачі контрольного параметра, який є обов'язком цикл (d) і фотоелектричні напруги (V_{pv}) — можна сформулювати. У цьому дослідженні i_L і i_L' використовуються як змінні стану, а V_{pv} як вихідна змінна. Коли перемикач конвертера увімкнено У режимі ON показано зображення перетворювача DC-DC на рис. 2.3

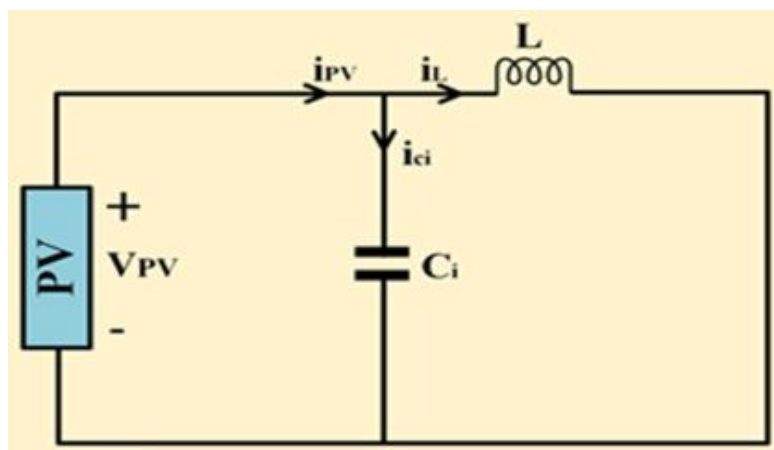


Рисунок 2.3 – DC–DC перетворювач у включеному режимі

На рисунку 2.3 моделювання простору станів виконується як рівняння струму індуктора описано в (2.3):

$$i_L = i_{pv} - i_{ci} \quad (2.3)$$

$$C_i = \frac{dV_{pv}}{dt} = -\frac{V_{pv}}{R_i} - i_L \quad (2.4)$$

Знак $-V_e$ означає, що навантаження є джерелом, а R_i – опір джерела.

$$\dot{v}_{pv} = -\frac{V_{pv}}{C_i R_i} - \frac{i_L}{C_i} \quad (2.5)$$

Тоді ми знаходимо зв'язок i_L рівняння для котушки індуктивності шляхом застосування KVL

$$L \frac{di_L}{dt} = V_{pv} \quad (2.6)$$

$$i_L = \frac{1}{L} V_{pv} \quad (2.7)$$

Переклад рівнянь (2.5) і (2.7) у матричну форму описано в (2.8).

$$\begin{bmatrix} i_L \\ V_{pv} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L} \\ -\frac{1}{C_i} & -\frac{1}{C_i R_i} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_L \\ V_{pv} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} V_0 \quad (2.8)$$

Коли перемикач у вимкненому стані. Тоді замкнутий, струм піде іншим шляхом, а в цей час – діод проводить. Слід мати на увазі один важливий момент, що під час вимкнення, шлях I_{ci} змінюється, і в цей час два струми (I_{pv} та I_{ci}) протікають індуктор. Знову ж таки, є два шляхи для струму індуктивності (I_L), струм (I_{co}). протікає через вихідний конденсатор (C_o), а решта струму (I_o) буде протікати через резистор навантаження (R_L), як показано на рисунку 2.4.

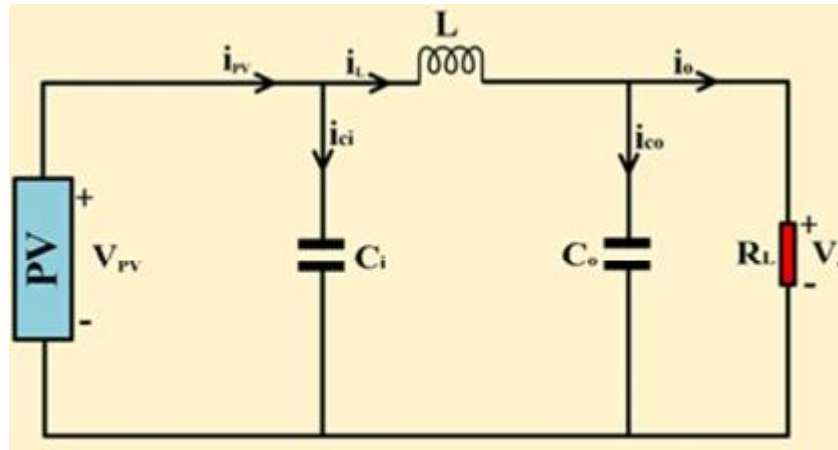


Рисунок 2.4 – DC–DC перетворювач постійного струму в режимі вимкнення.

$$i_L = i_{pv} + i_{ci} \quad (2.9)$$

$$\frac{dV_{pv}}{dt} = -\frac{i_L}{C_i} - \frac{V_{pv}}{R_i} \quad (2.10)$$

$$V_{pv} = -\frac{i_L}{C_i} - \frac{V_{pv}}{R_i} \quad (2.11)$$

Рівняння для котушки індуктивності отримано шляхом застосування KVL на рисунку 2.4.

$$L \frac{di_L}{dt} = V_{pv} - V_0 \quad (2.12)$$

$$i_L = \frac{V_{pv}}{L} - \frac{V_0}{L} \quad (2.13)$$

Подібним чином рівняння (2.11) і (2.13) переводяться в матричну форму, як показано в (2.14).

$$\begin{bmatrix} i_L \\ V_{pv} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L} \\ -\frac{1}{C_i} & -\frac{1}{C_i R_i} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_L \\ V_{pv} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_0 \quad (2.14)$$

$$\bar{A} = A_1 d + A_2 (1-d) \quad (2.15)$$

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L} \\ -\frac{1}{C_i} & -\frac{1}{C_i R_i} \end{bmatrix} d \cdot \begin{bmatrix} i_L \\ V_{pv} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_0 \quad (2.16)$$

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L} \\ -\frac{1}{C_i} & -\frac{1}{C_i R_i} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Аналогічно, щоб обчислити В:

$$\bar{B} = B_1 d + B_2 (1-d) \quad (2.18)$$

$$\bar{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} d + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ -\frac{1}{C_i R_i} \end{bmatrix} (1-d) \quad (2.19)$$

$$\begin{bmatrix} i_L \\ V_{pv} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L} \\ -\frac{1}{C_i} & -\frac{1}{C_i R_i} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_L \\ V_{pv} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{(1-d)}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_0 \quad (2.20)$$

Вище усереднені матриці записуються у вигляді рівнянь (2.21) і (2.22).

$$i_L = \frac{1}{L} V_{pv} - \frac{1-d}{L} V_0 \quad (2.21)$$

$$\dot{v}_{pv} = -\frac{1}{C_i} i_L - \frac{1}{C_i R_i} V_{pv} \quad (2.22)$$

Прирівнявши величини змінного та постійного струму нам необхідно перейти до рівняння змінного струму (нехтуючи другим порядком величини змінного струму).

$$L \frac{d}{dt}(\hat{i}_L) = \hat{v}_{pv} + \hat{d}V_0 - D\hat{v}_0 \quad (2.23)$$

Припустимо $(1-D)\hat{v}_0 = 0$.

$$L \frac{d}{dt}(\hat{i}_L) = \hat{v}_{pv} + \hat{d}V_0 \quad (2.24)$$

Взявши перетворення Лапласа рівняння (2.24):

$$\hat{i}_L(s) = \frac{\hat{v}_{pv}(s)}{sL} + \frac{V_0 \hat{d}(s)}{sL} \quad (2.25)$$

Підставляючи значення $\hat{i}_L(s)$ з рівняння (2.25) у рівняння (2.26):

$$sC_i \hat{v}_{pv}(s) = -\hat{i}_L(s) - \frac{\hat{v}_{pv}(s)}{R_i} \quad (2.26)$$

Використовуючи співвідношення $R_i = (1 - D)^2 R_L$ у наведеному вище виразі та, нарешті, отримаєте функція передачі для керування (d цикл) до фотоелектричної напруги (V_{PV}).

$$C_{VP,d} = \frac{-V_0}{(LC_i)s^2 + \left(\frac{L}{R_L(1-d)^2}\right)s + 1} \quad (2.27)$$

Власна частота (ω_n) і коефіцієнт демпфування (ζ) є два основні параметрами, які необхідно визначити для стабільності будь-якої системи. Ці два параметри можна розрахувати шляхом порівняння передавальної функції із загальними формулами цих двох параметрів і їх порівняння значення із заданою передаточною функцією, що є функцією другого порядку.

Конструкція вхідного конденсатора Порівняємо коефіцієнти передатної функції, задані в (2.26), із загальним виглядом передаточної функції другого порядку в (2.28) і коефіцієнта демпфування.

$$C_i = \frac{1}{4(R_{MPF})^2} \cdot \frac{L}{\zeta^2} \quad (2.27)$$

З рівняння (2.27) можна зробити висновок, що вхідний конденсатор в основному залежить від індуктивність (L), коефіцієнт демпфування (ζ) і R_{MPF} . Крім того, це узагальнена формула, яка можна застосувати для розрахунку номіналу вхідного конденсатора при будь-якому освітленні.

2.3 Результати та аналіз розрахунку DC-DC BOOST перетворювача для фотоелектричних систем потужністю 16 МВт

1. Вхідний конденсатор дорівнює вихідному конденсатору ($C_i = 45 \text{ мкФ}$, $C_o = 45 \text{ мкФ}$, $L = 12 \text{ мГн}$).

Щоб додатково оцінити продуктивність фотоелектричної системи, порівнявши значення вхідний конденсатор (C_i) до вихідного конденсатора (C_o). Система демонструє стабільну поведінку під час випромінювання в діапазоні від 1000 до 500 Вт/м² з швидкістю збіжності 0,00767 с для 1000 Вт/м². Крім того, він показує коливання нижче 500 Вт/м² з повільною швидкістю

конвергенції 0,0156 с, як показано на рисунку 2.5. На рис. 2.5 показано зміну реакції системи від 1000 Вт/м^2 до 200 Вт/м^2 , а ефективність знижується до нуля при подальшій зміні погодних умов. Тут демпфіруючий відгук системи є більш домінуючим при низьких рівнях опромінення порівняно з високими рівнями опромінення, а при низьких рівнях освітлення нижче 400 Вт/м^2 час встановлення системи є високим порівняно з часом при високих рівнях освітлення.

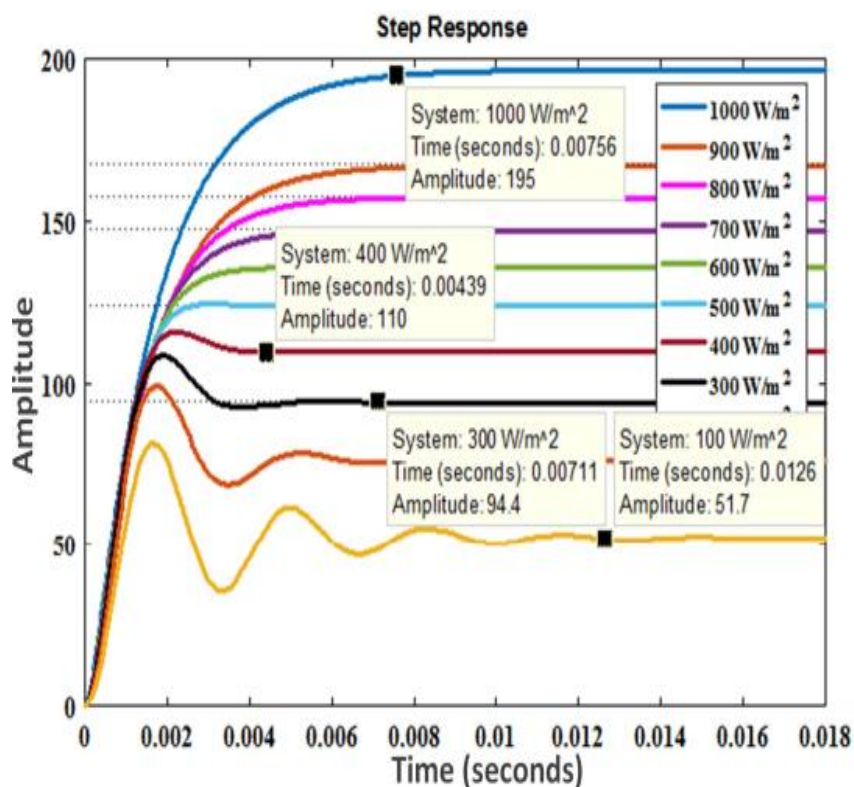


Рисунок 2.5 – Відповідь на крок при C_i , що дорівнює C_0 .

Карта P-Z моделі, згаданої вище, перевірена на рисунку 2.6 початок, падіння випромінювань 1000 Вт/м^2 в години пік; система демонструє стабільну поведінку поки рівень опромінення не знизиться з 1000 до 500 Вт/м^2 . Протягом цього діапазону випромінювання, полюс лежить на дійсній осі. Будь-яке подальше зменшення опромінення, наприклад 400 до 100 Вт/м^2 утворюються сполучені полюси, як показано в таблиці 2.2. При $100\text{-}200 \text{ Вт/м}^2$ (під час ранковий і вечірній час), система короткочасно стабільна і може зміщувати спряжені полюси в правому.

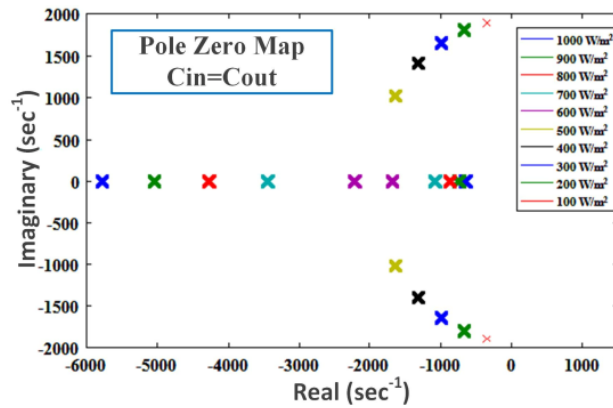


Рисунок 2.6 – Карта P-Z при C_i , що дорівнює C_0 .

Таблиця 2.2 – C_i дорівнює C_0 .

Рівень опромінення (Вт/м ²) при 25 °С	Демпфуваний фактор	Перехідний час (с)	Полюси	Нульовий фактор
1000	3,0005	$2,6851 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^4$; $-1,3271 - 0,0279i$	NIL
900	3,0110	$2,8885 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^4$; $-1,1228 - 0,0330i$	NIL
800	2,6807	$3,1196 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^3$; $-9,9030 - 0,3740i$	NIL
700	2,3510	$3,5572 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^3$; $-8,6126 - 0,4300i$	NIL
600	2,0215	$4,1371 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^3$; $-7,2586 - 0,5103i$	NIL
500	1,6924	$4,9415 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^3$; $-5,8939 - 0,6284i$	NIL
400	1,3626	$6,1373 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^3$; $-4,4075 - 0,8403i$	NIL
300	1,0317	$8,1056 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^3$; $-2,4628 - 1,5039i$	NIL
200	0,6972	0,0012	$1,0 \cdot 10^3$; $-1,3404 + 1,3810i$, $-1,3404 - 1,3810i$	NIL
100	0,3559	0,0024	$1,0 \cdot 10^3$; $-0,6851 + 1,7984i$, $-0,6851 - 1,7984i$	NIL

Було проведено зведення покрокової відповіді та кількісний аналіз карти P-Z. Розташування полюса та коефіцієнт демпфування в залежності від змінних рівнів опромінення проаналізовано в таблиці 2.2.

Вхідний конденсатор половина вихідного конденсатора ($C_i = 22,5$ мкФ, $C_0 = 45$ мкФ, $L = 12$ мГн). Тепер розглянемо інший випадок, коли C_i приймається як половина значення C_0 при 22,5 мкФ і 45 мкФ відповідно. У години пік рівень опромінення становить 1000 Вт/м², а система демонструє стабільну поведінку з швидкою швидкістю конвергенції 0,00745 с, доки освітлення не впаде до значення 400 Вт/м², як показано на рисунку 2.7. Система менш стабільна вранці, і ввечері, коли освітленість падає, дуже низька.

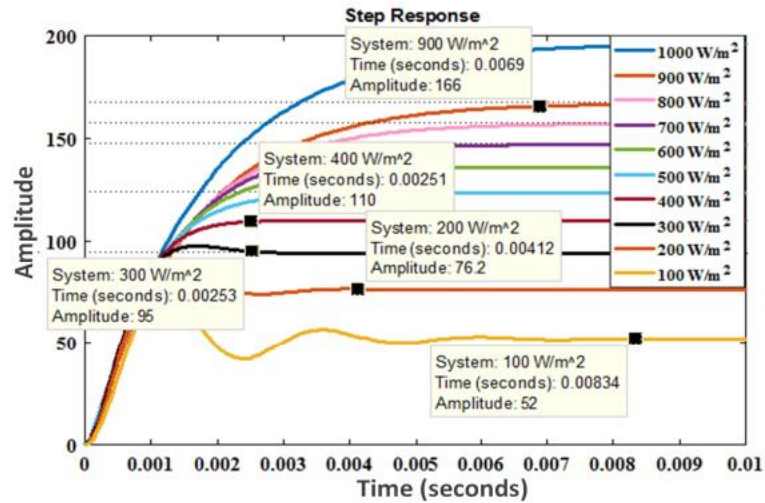


Рисунок 2.7 – Крок коли C_i менше C_o

Крім того, аналізується вплив зміни навантаження та частоти перемикань рис. 2.8 і 2.9. Оскільки навантаження змінюється від номіналу, перетворювач розрахований на відбір потужності від джерела змінюється. Так само частота перемикання впливає на розмір компоненти, які можна аналізувати з рівнянь, як обговорювалося раніше. Запас посилення, надмірне демпфування вихідного сигналу та перехідна характеристика покращуються, коли вхідний конденсатор менше за значенням відносно вихідного конденсатора. Проте запропоноване **На продуктивність і поведінку системи підвищувального перетворювача DC-DC негативно впливає, коли значення вхідного конденсатора більше, ніж значення вихідного конденсатора, що, у свою чергу, впливає якість вихідної напруги і струму.**

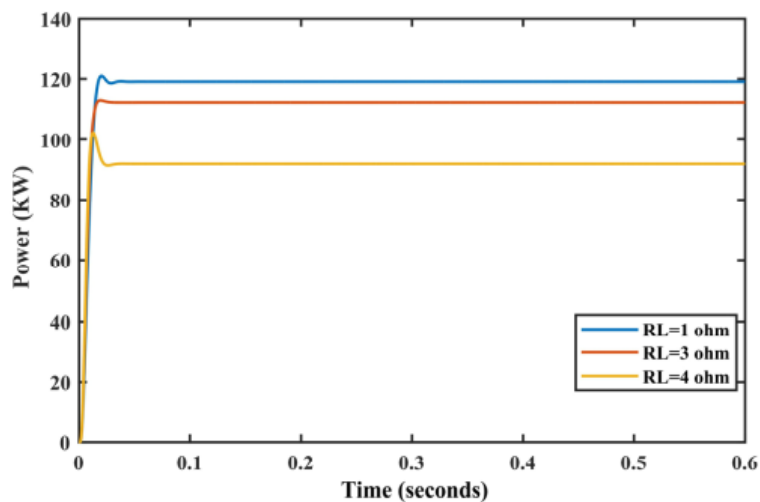


Рисунок 2.8 – Реакція PV на коливання навантаження.

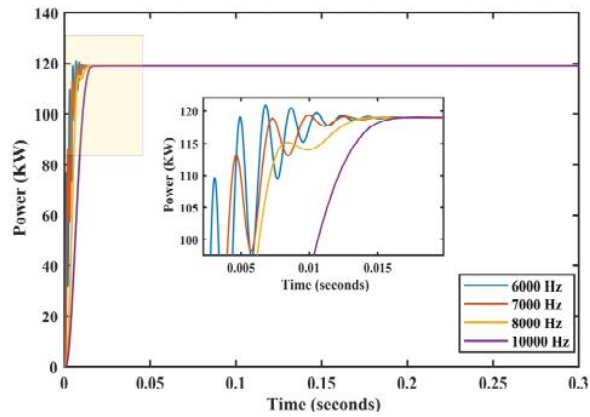


Рисунок 2.9 – Реакція фотоелектричної системи на зміни частоти перемикавання.

Конструкція та аналіз вхідного конденсатора в підвищувальних перетворювачах для фотоелектричної системи теми були широко вивчені в літературі. Значне значення вхідного конденсатора впливає на продуктивність перетворювача для вибору оптимальне значення вхідного конденсатора. Крім того, вхідний конденсатор був проаналізований за допомогою математичного моделювання, яке можна використовувати для прогнозування стабільності перетворювача і динамічний відгук. Тому нам необхідно розробити та оптимізувати підвищувальні перетворювачі DC-DC для фотоелектричних систем. Крім того, підвищувальний перетворювач для фотоелектричних батарей дає краще результати, коли вхідний конденсатор використовується при різних значеннях C_i для перевірки ефективності реакція системи в умовах навколишнього середовища. Результати довели, що критичний фактор для досягнення бажаних результатів є вибір C_i , при якому в основному залежить загальна ефективність залежний. Менше значення C_i призводить до кращої ефективності та перехідного відгуку. Але з іншого боку, високе значення C_i відносно значення C_o призводить до незадовільної системи відносно продуктивності DC-DC. Нарешті, робиться висновок, що стабільність DC-DC перетворювача залежить від значення C_i , і з результатів моделювання можна визначити, що C_i має становити 45 мкФ при 300 Вт/м² для запропонованої системи. Розроблена формула для C_i є узагальненою формулою, і значення C_i може бути змінено відповідно до сонячного опромінення

РОЗДІЛ 3. ДИЗАЙН І КОНЦЕПЦІЯ ПЛАТФОРМИ DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ПОТУЖНІСТЮ 16 МВт

3.1 Дизайн і концепція платформи, яка дозволяє підключати різні сонячні панелі і навантаження через DC-DC понижуючий перетворювач

Сонячна система на основі понижувального перетворювача була розроблена для зниження та стабілізації напруги через зручне управління ШІМ. Для живлення різних навантажень ми подавали постійну напругу для зарядки акумулятора протягом усього часу зарядки та з хорошою ефективністю, навіть якщо сонячна панель була піддана тіні або інші порушення. Ми створили платформу для підключення фотоелектричних (PV) модулів до навантажень через DC-DC понижуючий перетворювач напругою до 38 В і максимальною силою струму 5 А потужністю 75 Вт, а також напруга на виході до 36 В.

Наш результат полягає в тому, що ми можемо використовувати три сонячні батареї та прикріпити їх до них платформу, потім розмістити батарею, як навантаження, зафіксуйте значення ШІМ на перетворювачі та зробіть різні вимірювання у звичайний день і день порушення. Ми створили вбудовану систему на базі Ар-мікроконтролера duino ATmega328p і датчики для вимірювання різних параметрів, таких як напруга, струм, потужність, температуру і стежити за значенням напруги на навантаженні.

Крім того, алгоритм був реалізований у процесор для вимірювання різних миттєвих параметрів, включаючи значення панелі (V_{pv} , I_{pv} , P_{pv}), а також як параметри зниження (V_o , I_o , P_o) з використанням датчиків струму та напруги для різних миттєвих електричних величин на панелі та рівнях навантаження, а також для отримання даних у реальному часі при різних параметрах також підключіть платформу до комп'ютера через послідовний порт, щоб надсилати

дані та зберігати їх за допомогою мікроконтролера, а потім зчитування даних в електронній таблиці PLX-DAQ.

Із збільшенням потужності сонячних електростанцій для подачі електроенергії в магістральну мережу є потреба розробити рішення для зберігання енергії на рівні мережі. Ці розчини забезпечать необхідну гнучкість для виборів три міських мереж, щоб зменшити вплив диспропорції що відбувається в інтенсивності вітру, сонця та інших областей [1, 2].

Важливість MPPT регулятора відіграє важливу роль у стабілізації зниження вихідної напруги шляхом використання найвідоміших технік, таких, як HC (hill-скелелазіння), P&O (турбувати та спостерігати), INC (інкрементальний стан) тощо, що призводить до контролю над робочий цикл, щоб жити або заряджати батарею постійної напруги, шляхом реалізації понижувальної перетворювача, що забезпечує стабільність натягу при на виході цього інвертора, а в постійному стані хороші результати та криву ефективності [3-5].

Фотоелектричний (PV) ланцюжок перетворення синхронізується через статичний перетворювач (СК), керований регулювання потенціометра [6]. Його можна представити синоптична діаграма на рис. 3.1. Arduino UNO мікропроцесор плати отримує вимірювання параметри струму напруги та потужності від двох датчиків. Дані, отримані в процесі збору даних зберігається та відображається в реальному часі в PLX-DAQ Excel таблиця [7].

Ми почали описувати сонячний ланцюг як показано на рис. 3.2. Тестове обладнання може працювати з просто керованими налаштуваннями, коли ми використовували 3 типи панелей: дві панелі Welion (P-5 W), встановлені паралельно та панель TAL ENERGIE (TE400) 40 Вт, або панель Solar Inc. (CS4-55 Вт) і різні датчики, один модуль для зменшення напруги DC-DC понижувача, який живить навантаження акумулятора, коли ми можемо

відрегулюйте за допомогою потенціометра, щоб зафіксувати напругу в вихід цього кроку вниз.

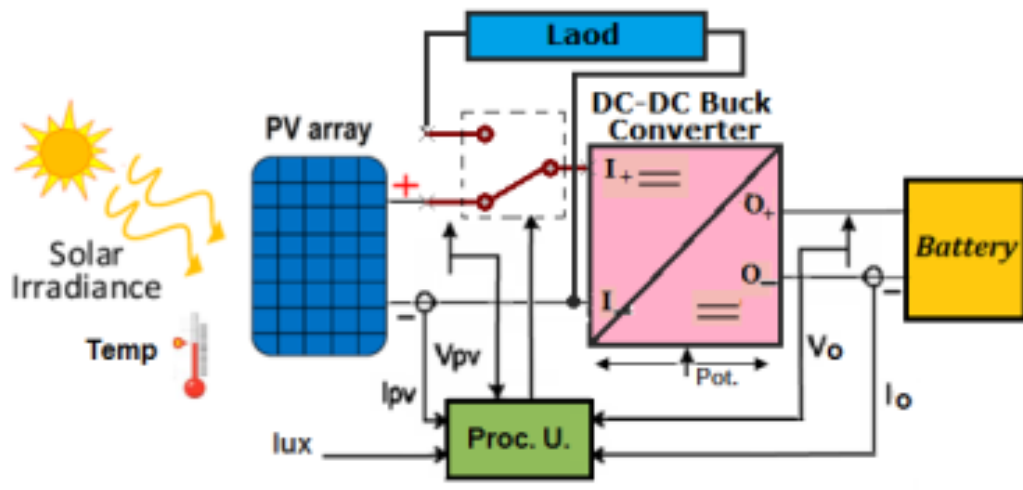


Рисунок 3.1 – Структурна схема сонячного ланцюга з DC-DC блоком конвертер, навантаження акумулятора та блок обробки даних

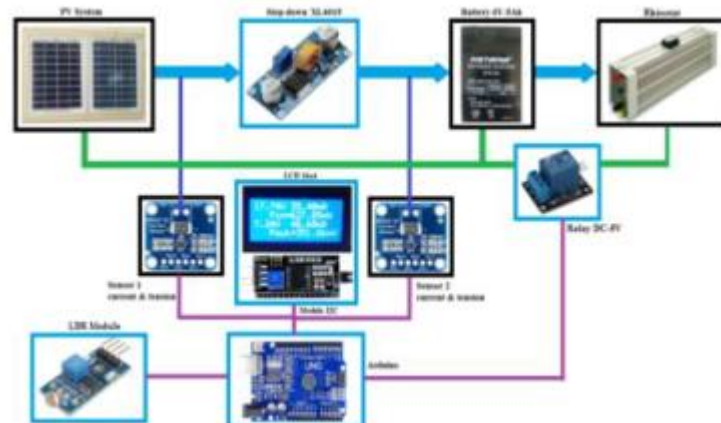


Рисунок 3.2 – Синоптична схема вимірювального стенду для PV модулі в сонячному ланцюзі

Ми також багато в чому поклалися на різні датчики, а саме:

1. Два датчики струму і напруги (INA219) для вимірювання струму і напруги на вході і виході перетворювача;
2. ШІМ-понижуючий перетворювач DC-DC або понижуючий модуль, що дозволяє фіксувати значення вихідної напруги за допомогою ШІМ. Здатний пропускати струм 5 А навантаження з високим ККД, напруга до 38 В на вході і до 36 В на виході [8, 9];

3. LCD 16 × 4 дисплей з інтерфейсом модуля I2C;
4. Реле DC-5V, щоб відключити живлення акумулятора, коли акумулятор заряджений або при відсутності освітлення;
5. Тип батареї METAMA (FM-6V-5AH);
6. Реостат (навантаження).

3.2 Параметри дослідного макету сонячної фотоелектричної системи потужністю 16 МВт

Моделювання фотоелектричного генератора. Фотоелектричний елемент є фотодіодом; це може бути представлена схема на рис. 3.3, як проста модель. Беручи до уваги опори підключення та струм витоків орендної плати, на основі ідеальної моделі, ми можемо представити GPV за діаграмою, яку також називають чотирьох параметричною моделлю. [4, 10].

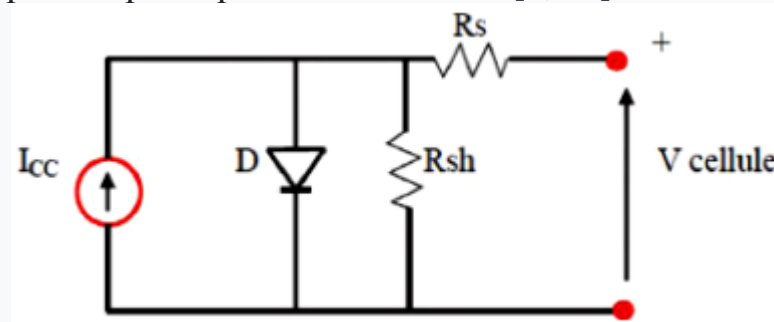


Рисунок 3.3 – Еквівалентна схема чотирьох параметричної моделі

Вираз повного струму можна подати як:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh}. \quad (3.1)$$

Фотострум I_{ph} – струм, що генерується світлом, також відомий як струм короткого замикання I_{sc} , K_0 є температурна чутливість, G – сонячне опромінення і обчислюється як [3, 5]:

$$I_{sc} = \frac{G}{1000} [I_{scr} + K_0 (T_c - T_{ref})]. \quad (3.2)$$

Вираз струму діода задається як:

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{q(V+R_s I)}{K T_c}} - 1 \right). \quad (3.3)$$

де I_0 – струм насичення, q – електрон заряд ($q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ С), K – стала Больцмана ($K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/к), T_c – температура комірки (К), і $V_T = kT_c/q$ – теплова напруга (В).

Вираження загальний струм можна записати як [3, 4, 8, 10]:

$$I = I_s - I_0 \cdot e^{\frac{q(V+R_s I)}{KT_c}} - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (3.4)$$

Таблиця 3.1 – Електричні параметри кожного фотоелектричного модуля

Параметри	Позначення різних фотоелектричних модулів		
	Welion (P-5W)	TOTAL ENERGIE (TE400)	Canadian Solar Inc. (CS4-55)
P_{MP} (Вт)	5 Вт	40 Вт	55 Вт
V_{oc} (В)	11,1 В	21,8 В	21,6 В
I_{sc} (А)	0,62 А	2,5 А	3,48 А
V_{MP} (В)	9 В	17,3 В	17,2 В
I_{MP} (А)	0,56 А	2,3 А	3,2 А

Вплив опромінення на панель. Ця панель може піддаватися збуренням від затінення, вітер і відхилення сонця. Температуру $T = 25$ °С підтримуємо постійною і застосовувати радіаційні збурення, змінюючи сонячне світло (G) від 200 до 1000 Вт/м² [4, 5] результати наведені на рис. 3.4.

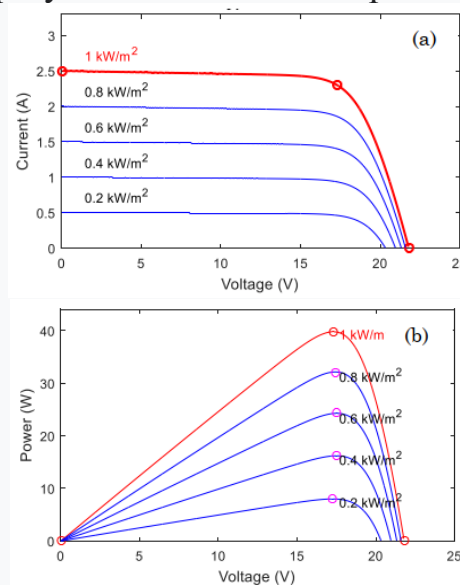


Рисунок 3.4 – Вплив сонячної радіації на (а) I-V і (б) P-V характеристики PV панелі під MATLAB для Total (TE400)

3.3 Понижуючий конвертер дослідного макету сонячної фотоелектричної системи потужністю 16 МВт

Понижуючий перетворювач, також відомий, як послідовний чоппер, є імпульсний джерело живлення, який перетворює напругу постійного струму в вхід в іншу постійну напругу на виході. Тут математична модель створюється шляхом застосування законів Кірхгофа основну схему подрібнювача (див. рис. 3.5) і операційну цього перетворювача можна розділити на дві комутаційні послідовності на основі стану перемикача Q і діода D [7]. Схему понижувального перетворювача наведено в на рис. 3.5 [2, 4].

Протягом періоду часу T можуть перемикатися два режими виражатися: перший режим Q : ON і D : OFF і другий режим Q : OFF і D : ON показано на рис. 3.5 [2, 12].

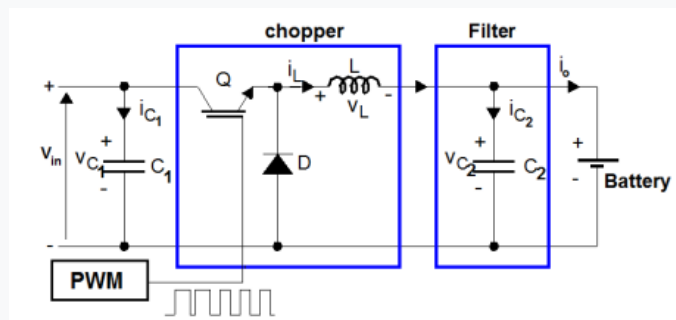


Рисунок 3.5 – DC-DC понижуючий перетворювач в залежності від стану перемикача Q і D

Вихідна напруга розраховується за середнім значенням:

$$V_0 = V_{C_2} = \frac{t_{on}}{T} V_{in} = \alpha V_{in} \quad (3.5)$$

де T – період повторення ($T = 1/f$), f – частота частота ring, t_{on} – час увімкнення, а α – робочий цикл провідності, $\alpha = t_{on}/T$ [12].

Динамічні рівняння чоппера представлені для такі змінні стану: струм індуктивності i_L , емність вихідна напруга v_{C2} або v_0 , а вхідна напруга v_{in} . Коли $x = [x_1 \ x_2 \ x_3] = [v_0 \ i_L \ v_{in}]$, ми можемо покласти

$$\lambda_1 = \frac{1}{C_2}; \lambda_2 = \frac{1}{L}; \lambda_3 = \frac{1}{C_1} \quad (3.6)$$

$$\begin{cases} \frac{dv_0}{dt} = -\frac{1}{C_2}v_0 + \frac{1}{C_2}i_L \\ \frac{di_L}{dt} = -\frac{1}{L}v_0 + \frac{d}{L}v_{in} \\ \frac{dv_{in}}{dt} = -\frac{d}{C_1}i_L + \frac{1}{C_1}i_{in} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_0 = -\frac{1}{C_2}v_0 + \frac{1}{C_2}i_L \\ i_L = -\frac{1}{L}v_0 + \frac{d}{L}v_{in} \\ v_{in} = -\frac{d}{C_1}i_L + \frac{1}{C_1}i_{in} \end{cases} \quad (3.7)$$

Рівняння стану можна записати наступним чином:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\lambda_1 & \lambda_1 & 0 \\ -\lambda_2 & 0 & \lambda_2 \cdot d \\ 0 & -\lambda_3 \cdot d & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \lambda_3 \end{bmatrix} i_{in} \quad (3.8)$$

Добре сконструйований понижуючий перетворювач має високий ККД (до 95 %) і пропонує можливість регулювання вихідна напруга. Ми пропонуємо крок вниз, показаний на рис. 3.6, здатний приводних навантажень до 5 А з високим ККД, а фіксована частота 180 кГц. Ми можемо регулювати потенціал омметром для фіксації напруги на виході перетворювача в залежності від співвідношення (3.5) [9, 13].

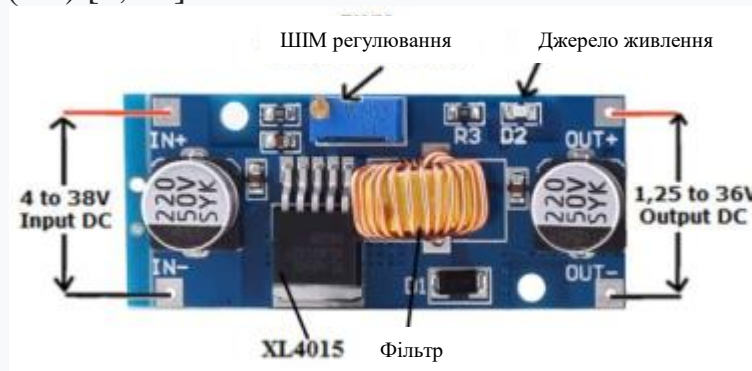


Рисунок 3.6 – DC-DC понижуючий перетворювач модуля XL4015 з ШІМ регулюванням, що дозволяє підключати вхідну напругу до 38 В.

Таблиця 3.2 – Параметри понижувального перетворювача DC-DC [9]

Параметр	Позначення та одиниці вимірювання	Дані
Вхідна напруга	V_{in} , В	4 до 38
Вихідна напруга	V_{out} , В	1,25 до 36
Вихідний струм	I_{out} , А	max 5
Вихідна потужність	P_{out} , Вт	75
Ефективність	100%	1 до 96
Частота перемикання	f , кГц	180
Габаритні розміри	см	5,4 x 2,3 x 1,5

3.4 Навантажувальна система для заряджування акумуляторної батареї в дослідному макеті сонячної фотоелектричної системи потужністю 16 МВт

Акумуляторні батареї стали широко використовуватися в сьогодні, оскільки вони знаходяться в усіх аварійних системах і генераторах для зберігання електричної енергії (DC) і не тільки ці речі, а й широко поширені в будинках, а також малі, середні та великі проекти зі збереження енергії виробляється сонячними панелями для використання вночі та взимку [1, 2, 8].

Модуль понижувального перетворювача DC-DC має застосування де вхідна напруга вище, ніж вихідна напруга. У нашому проекті вхідна напруга V_{oc} до 20 В для трьох панелей, прикладених до входу перетворювача. Що стосується на виході перетворювача встановлюємо напругу на значення циклу, що використовується для зарядки акумулятора.

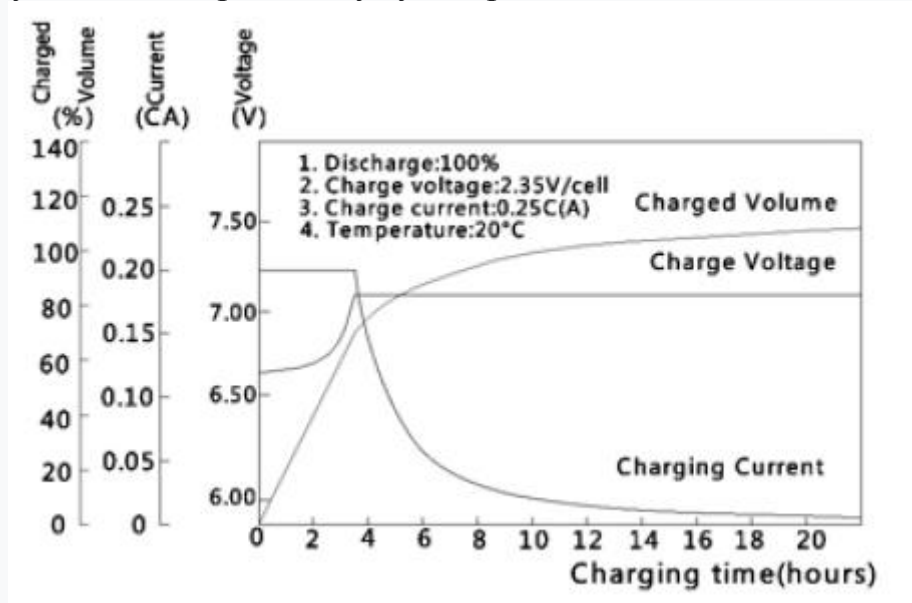


Рисунок 3.7 – Зарядні характеристики акумулятора (6 В; 4,5 А·год) [14, 15]

Таблиця 3.3 – Характеристики зарядного акумулятора МЕТАМА FM- 6 V-5 А·h ($T_n = 20\text{ }^\circ\text{C}$).

	Використання в режимі очікування	Цикл використання
Регулятор напруги	6,75 до 6,90 В	7,20 до 7,50 В
Початковий струм	1,5 А max	

3.5 Дослідний макет сонячної фотоелектричної системи потужністю 16 МВт

Під час дослідження авторами було виготовлено дослідний макет сонячної фотоелектричної системи в складі фотоелектричного генератора трьох типів (Welion тип P-5W, загальна потужність модулів тип EL TE400-40W, тип моделі Candian solar Inc. CS4-55 Вт) для живлення платформи (рис. 3.8).

На рис. 3.9 показано, як можна отримати збір даних або DAQ з мікроконтролером, що дозволяє отримувати дані за періодом, а саме напруга, струм і багато змінних. Все можна переглянути на ПК безпосередньо або збережено для подальшого аналізу [7, 16].

Тоді передумовами є наявність Arduino та програмне забезпечення Excel, а також апаратне забезпечення ATmega328p [7].



Рисунок 3.8 – Подано три фотоелектричні модулі

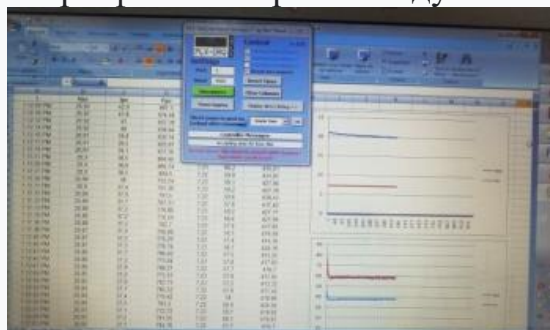


Рисунок 3.8 – Вимірювальний стенд і стіл Excel PLX-DAQ, що відображаються на моніторі в режимі реального часу, зі збереженням даних і побудовами кривих різних параметрів

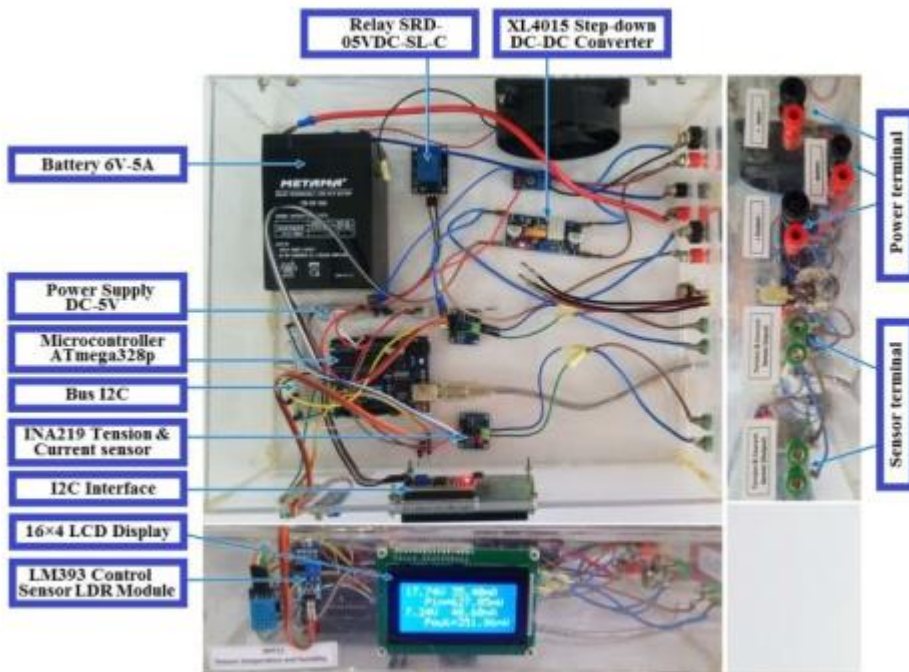


Рисунок 3.9 – Платформа, призначена для вимірювання пакету даних (на виході панелі I_{pv} , V_{pv} , P_{pv} і на виході перетворювача I_o , V_o , P_o)

Ми досягли результатів, використовуючи три види сонячних панелей, як згадувалося раніше (рис. 3.8), де ми зарядив батарею за допомогою вимірювального стенду та спочатку використовували програмне та апаратне забезпечення для програмування мікроконтролера, а потім електронну таблицю Excel PLX-DAQ щоб зберегти дані. Відносно електричних компонентів, то вони є на платформі і зображені на рис. 3.10 [16]. Тут наведені графіки представляють симуляцію миттєвої величини, які були взяті в таблиці даних.

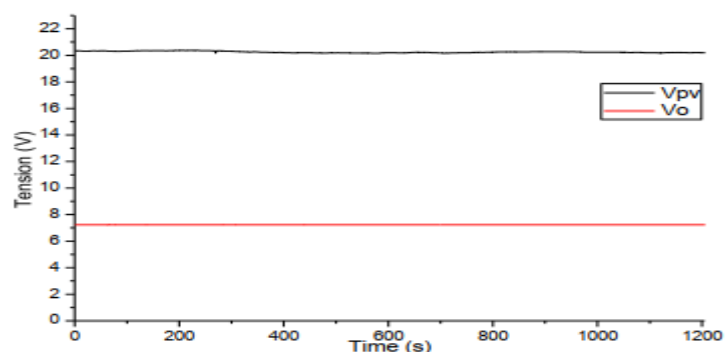
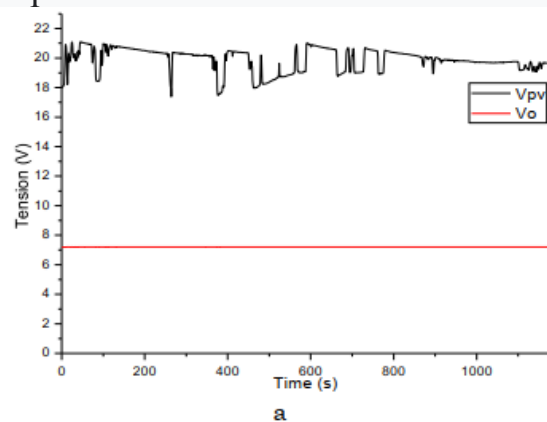


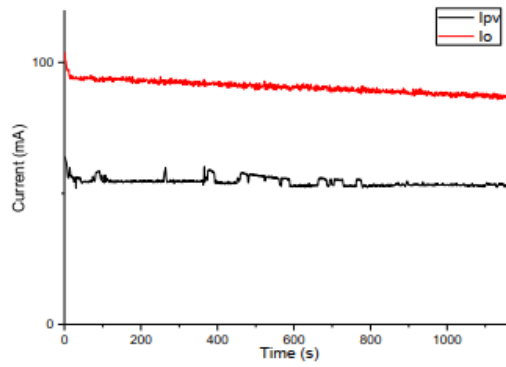
Рисунок 3.11 – Криві V_{pv} - V_o , виміряні під радіацією (750 Вт/м^2) з панеллю загальної енергії, на клемі акумулятора, яку ми закріпили $V_{batt} = 7,20 \text{ В}$, з 10:58 до 11:33 15.05.2023 р.

На рис. 3.11 показано різні миттєві значення напруг сонячної панелі V_{pv} і постійне значення ($V_o = V_{batt}$) на акумуляторі рівень за стабільних нормальних умов 21 В на вході перетворювача до фіксованого значення, яке ми призначемо регулюючи значення потенціометра $V_o = 7,20$ В на виході максимум напруги для зарядки акумулятора, як показано на рисунку 3.11 є низький. Значення на осі часу представляють миттєві значення близько 1 с.

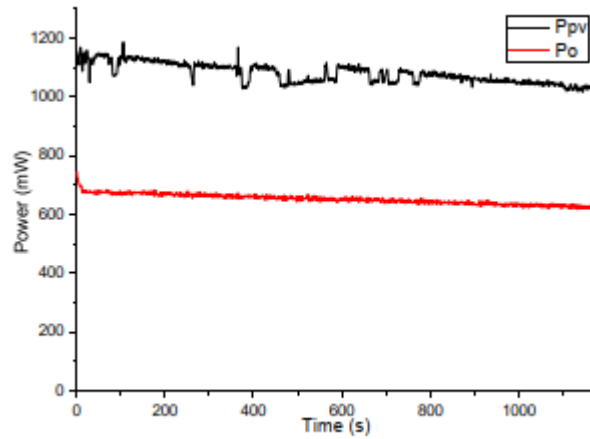
Вимірювання дає нам можливість мати кілька варіантів використання наприклад моніторинг батареї, зберігання інформації, даних читання та зв'язки кожного з моментів вхідні та вихідні значення для струму, напруги та потужність. Ми також порівняли три панелі на характеристики кожного за хороших погодних умов (рис. 3.11), а також при порушенні погоди на зміну сонячної радіації (рис. 3.12). Експерименти дали хороші результати, незважаючи на нашу відсутність загальної енергії, а ефективність цієї системи показана в підтримання постійної вихідної напруги в області робочої кривої.

Результати експериментів показують графіки реакції системи на різних етапах атмосфери, зміни заряджання акумулятора, забезпечення захисту акумулятора від перезаряду та глибокої розрядки, а також за допомогою алгоритму, застосованого в Arduino, крім того для підвищення ефективності фотоелектричного генератора.



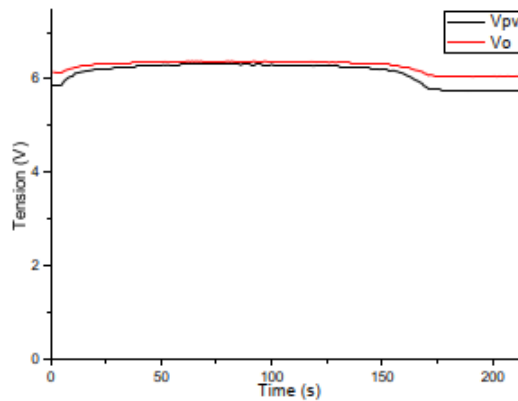


b



c

Рисунок 3.12 – (а), (b) і (с) відповідно показують I_{pv} - I_o , V_{pv} - V_o і криві P_{pv} - P_o , виміряні під радіацією (770 Вт/м^2) на клемі акумулятора $V_{batt} = 7,20 \text{ В}$, година 13:17 – 13:51; 28.05.2023 р.



a

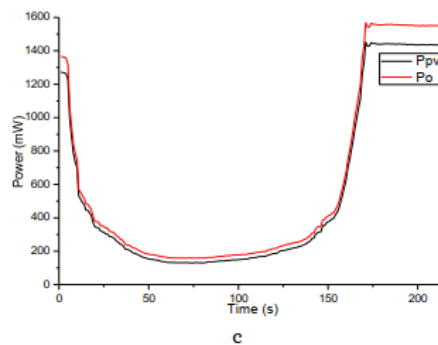
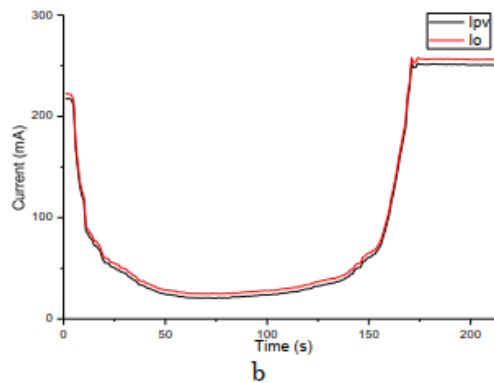


Рисунок 3.13 – а), (b) і (c) відповідно показують I_{pv} - I_o , V_{pv} - V_o і криві P_{pv} - P_o та використовуючи зворотній ланцюжок перетворення, змінну реостата живлення та акумулятора, $V_o = V_{batt} = 6,3$ В, година 14:17 по 14:23, 28.05.2023 р.

Під час розрядки акумулятора в сенсі енергії споживання відбувається опосередковано, коли ми використовуємо зворотний спосіб через акумулятор – перетворювач – реостат та процес повністю зворотний у цьому разі, щоб отримати напругу на вході перетворювача, ми можемо сказати, що крок вниз є оборотним у напрузі, як показано на рис. 3.13.

Ця робота представляє симуляційне дослідження, яке дозволяє зчитувати сонячні показники, дані панелі, а також вихідні дані про навантаження через DC- DC перетворювач постійного струму, який має перевагу стабілізації напруги на виході забезпечує максимальне використання МРРТ. Крім цього, можна додати, що зчитування та запис різних електричних значень на сонячній панелі і рівень батареї мають значення, що впливають, а саме сонячна радіація та температура.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

4.1 Організація роботи служби з охорони праці та довкілля

Система управління охороною праці (СУОП) – це сукупність органів управління підприємством, які на підставі комплексу нормативної документації проводять цілеспрямовану, планомірну діяльність щодо здійснення завдань і функцій управління з метою забезпечення здорових безпечних і високопродуктивних умов праці. За дану частину виробництва відповідає інженер з охорони праці. Головне завдання спеціаліста – створення здорових, безпечних і високопродуктивних умов праці, покращення виробничого побуту, запобігання травматизму і профзахворюванням.

Для забезпечення створення СУОП щорічно розробляються та затверджуються на підприємстві положення про організацію управління охорони праці; щорічно оформляються накази про призначення осіб відповідальних за стан охорони праці на дільницях, а також безпечне використання об'єктів підвищеної небезпеки (котлів, що працюють під тиском, газових та кисневих балонів, пестицидів); оформляються наказ про визначення персональних обов'язків з охорони праці усіх спеціалізацій, керівників дільниць та інших службових осіб; щорічно проводиться паспортизація умов праці, технічних засобів безпеки і технічного стану робочих місць; складаються плани роботи з охорони праці, комплексне, річне і оперативне планування; організовуються заходи матеріального і морального стимулювання щодо охорони праці; проводяться розслідування і вивчення причин травм, пожеж їх аналіз і облік, а також розробляються заходи щодо їх застосування;

Об'єктом управління є діяльність структурних підрозділів та служб підприємства по забезпеченню безпечних і здорових умов праці на робочих місцях, виробничих дільницях, цехах та підприємства в цілому.

4.2 Протипожежна безпека і грозозахист

Блискавко захист – це комплекс захисних захистів від блискавки, які гарантують безпеку людей, збереження людей і споруд, обладнання та матеріалів від вибухів, загоряння й руйнування. Найпростішими і надійними засобами від блискавки є створення блискавковідводів. Схема блискавкозахисту будівлі показана на рис. 4.1.

Струмопровід виконується сталлю стрічкою перерізом 25...30 мм або дротом не менше 6 мм. Заземлення виконується кутовою сталлю, трубами на відстані від установки не менше 4,5 м. Опір розтікання не повинен перевищувати 15...20 Ом.

Приймаємо початкову висоту блискавковідводу 8 метрів. Визначаємо радіус конуса, в якому ймовірність попадання 95%, через висоту конуса h за формулою (4.1):

$$R_0 = 1.5 \cdot h, \text{ м. } R_0 = 1,5 \cdot 8 = 12 \text{ м.}$$

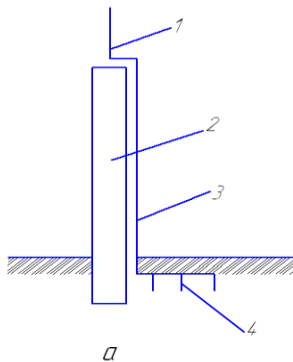


Рисунок 4.1 – Схема блискавко захисту конструкції; 1 – блискавко приймач,

2 – блискавко провідник; 3 – опора, 4 – заземлювач.

Для будинку довжиною L кількість одиночних блискавковідводів визначаємо через радіус конуса R_0 в якому ймовірність попадання 95% за формулою:

$$N_6 = \frac{L}{2R_0}, \text{ шт, } N_6 = \frac{86}{2 \cdot 4} = 11 \text{ шт.}$$

Усі з'єднання в процесі монтажу системи блискавко захисту (Блискавко приймач – струмовідвід, струмовід – заземлювач) виконують за допомогою зварювання. Болтові з'єднання застосовують лише для тимчасових блискавко захисних пристроїв.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ПОТУЖНІСТЮ 16 МВт

5.1 Обґрунтування економічної ефективності застосування DC-DC перетворювача для фотоелектричних систем потужністю 16 МВт

Під час забезпечення електроенергією об'єкту можливим є застосування фотоелектричних модулів. Номінальна потужність фотоелектричного модуля стандартного розміру задається за умови освітленості $E = 1000 \text{ Вт/м}^2$.

Продуктивність сонячного фотоелектричного модуля можна оцінити через сумарну сонячну енергію, яка надходить на горизонтальну поверхню протягом світлового дня.

Для розрахунку середньоденного виробництва електроенергії з одного елемента сонячної фотоелектричної панелі скористаємось формулою

$$W_{cd} = \eta \cdot H_{\beta} \cdot S, \quad (5.1)$$

де η – коефіцієнт корисної дії фотоелектричної панелі; H_{β} – інтенсивність надходження сонячної енергії, $\text{кВт} \cdot \text{год/м}^2$; S – площа сприймаючої поверхні фотоелектричної панелі, м^2 .

Середньомісячне виробництво електроенергії розраховується за формулою

$$W_{cm} = W_{cd} \cdot n_{md}, \quad (5.2)$$

де n_{md} – кількість днів у місяці, днів.

Річне виробництво електроенергії сонячною фотоелектричною панеллю визначиться як

$$W_p = \sum_{i=1}^{12} W_{cmi}. \quad (5.3)$$

Таким чином, за результатами вище наведеного розрахунку можна визначити річне виробництво електроенергії з однієї фотоелектричної панелі.

Для визначення кількості сонячних фотоелектричних панелей, які забезпечать електроенергією систему освітлення досліджуваного об'єкта скористаємось формулою

$$N_{\phi n} = \frac{E_{ocp}}{W_p} \quad (5.4)$$

Для дослідження помісячного рівня заміщення потреби електроенергії для системи вуличного освітлення за рахунок застосування фотоелектричних панелей необхідно здійснити розрахунок помісячного виробництва електроенергії фотоелектричною установкою за формулою

$$W_{\Sigma cm} = W_{cm} \cdot N_{\phi n} \quad (5.5)$$

Відповідно до цього загальне річне виробництво електроенергії фотоелектричною установкою буде рівним

$$W_{\Sigma cp} = \sum_{i=1}^{12} W_{\Sigma cm i} \quad (5.6)$$

Помісячний баланс потреби електроенергії для роботи системи і виробництва сонячною фотоелектричною установкою може бути інструментом для аналізу поточної ситуації з рівнем енергозабезпечення, а саме:

$$\Delta W_m = E_{ocm} - W_{\Sigma cm} \quad (5.7)$$

Найбільш інформативним буде побудова графічної залежності затрат коштів на експлуатацію DC-DC перетворювача сонячної фотостанції 16 МВт (див. рис. 5.1).

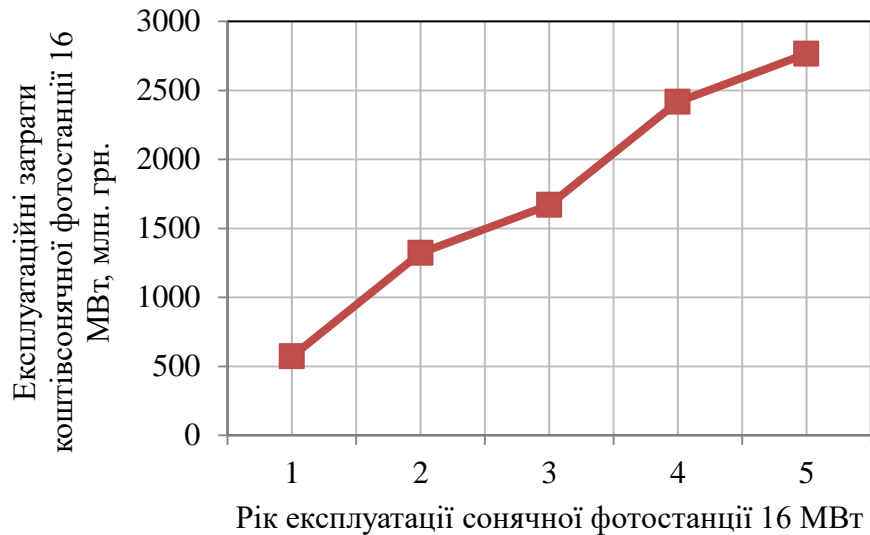


Рисунок 5.1 – Графічна залежність затрат коштів на експлуатацію DC-DC перетворювача сонячної фотостанції 16 МВт

Вартість втрат електроенергії для DC-DC перетворювача сонячної фотостанції 16 МВт визначається за формулою

$$B_{me} = W_{\Sigma cp} \cdot C_{me} \quad (5.8)$$

$$B_{me} = 643 \cdot 2,68 = 1723,24 \text{ грн.}$$

де C_{me} – ціна відпуску електроенергії споживачам, грн./кВт·год.

Термін окупності застосування DC-DC перетворювача для фотоелектричних систем потужністю 16 МВт визначається за формулою

$$T_{ок} = \frac{\sum_i B_{me}}{\sum_{n=12} W_{cm}} \quad (5.9)$$

$$T_{ок} = \frac{1723,24}{11221,53} = 0,15 \quad \text{або} \quad 1,5 \quad \text{роки.}$$

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

В цій роботі досліджено вдосконалену конструкцію перетворювача постійного струму для сонячних фотоелектричних установок 16 МВт. Пропонується, що СМС забезпечує кращу продуктивність, ніж метод VMC. Це досягнуто модифікацією перетворювача VMC і введенням додаткової петлі визначення струму. Схема компенсації використовується для забезпечення бажаної продуктивності. Зменшення часу реакції на перехідні процеси стало ключовою перевагою для вдосконаленою конструкцією перетворювача, де час встановлення скорочується до 1,2 с незалежно від змін на вході та виході змін у перетворювачі напруги живлення, СМС продемонстрував зворотну ситуацію порівняно з випадком VMC. Високі пульсації вихідної напруги з'являлися при нижчих рівнях вхідної напруги та зменшувалися зі збільшенням напруги живлення СМС, як і VMC від критично демпфованої перехідної характеристики. Щоб забезпечити задовільну продуктивність, були потрібні деякі зміни початкового дизайну. Потреба в згладжую чому конденсаторі для зменшення пульсацій вихідної напруги. Результат навіть з додаванням конденсатора демонструють невелике збільшення на 4 мВ пульсацій на виході для змін навантаження порівняно з VMC. Ефективний контроль вихідної пульсації мають важливе значення для запобігання зниженню виходу фотоелектричної панелі.

Проектування схеми компенсатора також вимагає певного перегляду для досягнення прийнятного результату необхідний додатковий нуль. Вся двоконтурна схема компенсації є більш складною, ніж VMC. Тим не менш, запропонована техніка керування забезпечує покращену продуктивність, демонструючи її перевагу над VMC. Таким чином, це придатне рішення для сонячних фотоелектричних систем 16 МВт.

У цій примітці ми представляємо іншу топологію, щоб точно відстежувати вихідну напругу DC-DC Boost і Buck-Boost перетворювачі потужності в деякий зміщений синусоїдальний сигнал. Пропонований контролер використовує нелінійну модель для отримання точних необхідних вхідних даних для отримання нульового відстеження помилок між течіями.

Ця робота з перетворювачами постійного струму DC-DC, які були представлені раніше розглянута можливість підключення іншого входу до перетворювача з тією ж метою; синусоїдальне відстеження. Іншою метою є послаблення певних умов, щоб використовувати менше енергії постійного струму. Автономна сонячна система дозволяє зчитувати сонячні дані і дані панелі, а також дані вихідного навантаження через перетворювач DC-DC, який має перевагу стабілізації напруги на виході, це забезпечує використання MPPT. Ми можемо додати зчитування та запис різних електричних значень на сонячній панелі і рівень батареї, значення, що впливають на панель таких, як сонячна радіація та температура до даних таблиці та збереження їх, як інформацію для аналізу отриманих даних в реальному часі.

ПОСИЛАННЯ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця. Львів: Вид-во ЛНАУ, 2008. 135 с.
2. Гальчак В. П., Дмитрів Г. М. Розрахунок енергетичних параметрів гібридної системи теплопостачання фермерського будинку. Метод. вказівки до виконання курсового проекту. Львів, ЛДАУ, 2005. 36 с.
3. Дудюк Д. Л., Мазепа С. С., Гнатишин Я. М. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі: Навч. посіб. Львів: "Магнолія 2006", 2008. 188 с.
4. Жуковський С. С., Лабай В. Й. Системи енергопостачання і забезпечення мікроклімату будинків та споруд: Навч. пос. для ВЗО. Львів: Астрономо-геодезичне товариство, 2000. 259 с.
5. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. 984 с.
6. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. К.: НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
7. Маляренко В. А. Основи теплофізики будівель та енергозбереження. Підручник. 2-е видання. Х.: Видавництво САГА, 2010. 484 с.
8. Маляренко В.А. Енергетичні установки. Загальний курс. Х.: В-во САГША, 2008. 320 с.
9. Саницький М. А., Позняк О. Р., Марущак У. Д. Енергозберігаючі технології в будівництві: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 236 с.
10. <https://uniclimate.com.ua/products/teplovi-nasosy-dlya-pryvatnogo-budynku/cooperhunter-unitherm-3-all-in-one-ch-hp12wtsirk3/>
11. <https://uniclimate.com.ua/wp-content/uploads/2023/02/instrukciya-unitherm3-aio-ua.pdf>

12. https://cooperhunter-aircon.com/?gclid=Cj0KCQjw7aqkBhDPARIsAKGa0oLWwriPnZqdYFkAdTEGwILGKZiUW6zYhudeqKqlb11QuAZmcjiDyL0aAqmlEALw_wcB
13. R. K. Sarojini, K. Palanisamy and E. De Tuglie, “A fuzzy logic- based emulated inertia control to a supercapacitor system to improve inertia in a low inertia grid with renewables,” *En- ergies*, Vol. 15, no. 4, Article ID 1333, 2022.
14. O. Abdel-Rahim and E. Abdelhameed, “Ultimate trans- formerless boost DC-DC converter for renewable energy applications,” *SVU-International Journal of Engineering Sci- ences and Applications*, Vol. 2, no. 2, pp. 63–69, 2021.
15. J. B. Holm-Nielsen, and D. Almakhles, “A hybrid PV-battery system for ON-grid and OFF-grid applications-controller in loop simulation validation,” *Energies*, Vol. 13, №. 3, P. 755, 2020.
16. V. Burlaka, S. Gulakov, S. Podnebennaya, E. Kudinova, and O. Savenko, “Bidirectional single stage isolated DC-AC converter,” in *Proceedings of the 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, PP. 343–346, IEEE, Kharkiv, Ukraine, 2020, October.
17. S. Deshmukh, A. R. Thorat, and I. Korachagaon, “Modelling and analysis of PV standalone system with energy manage- ment scheme,” in *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT)*, PP. 1–5, IEEE, Bangalore, India, 2020, July.
18. K. Amer, M. Fakher, S. Ahmad, M. Irhouma, S. Altaobao and E. Salem, “Performance of domestic solar heating system with thermal storage using phase change materials,” *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol. 16, no. 9, PP. 01–11, 2020.
19. E. S. Harsha, R. K. Nema, S. Nema, and R. D. Kulkarni, “Design & Simulation of high gain ratio Bidirectional con- verter for energy storage applications,” in *Proceedings of the 2020 International Conference on Computational Intelligence for Smart Power System and Sustainable Energy (CISPSSE)*, pp. 1–6, IEEE, Keonjhar, India, 2020, July.

20. Y. Nassar, S. Alsadi, K. Amer, A. Yousef, and M. Fagher, “Numerical analysis and optimization of area contribution of the PV cells in the PV/T flat-plate solar air heating collector,” *Solar Energy Research Update*, Vol. 6, PP. 43–50, 2019.
21. M. Schroeder and J. Jaeger, “Advanced energy flow control concept of an MMC for unrestricted operation as a multiport device,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 34, №. 11, PP. 11–496, 2019.
22. M. S. Chinthavali, J. Sun, P. R. V. Marthi, S. Chinthavali, S. Lee and M. Elizondo, *Models and Methods for Assessing the Value of Hvdc And Mvdc Technologies in Modern Power Grids*, Pacific Northwest National Lab, United States, May 2019.
23. S. Yassin Alsadi and Y. Fathi Nassar, “A general expression for the shadow geometry for fixed mode horizontal, step-like structure and inclined solar fields,” *Solar Energy*, Vol. 181, PP. 53–69, 2019.
- A. Hafez, Y. Nassar, M. Hammdan, and S. Alsadi, “Technical and economic feasibility of utility-scale solar energy conversion systems in Saudi arabia,” *Iranian Journal of Science and Technology Transactions of Electrical Engineering*, Vol. 44, PP. 213–225, 2020.
24. H. Bayat and A. Yazdani, “A hybrid MMC-based photovoltaic and battery energy storage system,” *IEEE Power and Energy Technology Systems Journal*, Vol. 6, №. 1, PP. 32–40, 2019.
25. M. Kumar, “Solar PV based DC microgrid under partial shading condition with battery- Part 2: energy management system,” in *Proceedings of the 2018 8th IEEE India International Conference on Power Electronics (IICPE)*, PP. 1–6, IEEE, Jaipur, India, 2018, December.
26. S. Debnath and M. Chinthavali, “Numerical-stiffness-based simulation of mixed transmission systems,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, №. 12, PP. 9215–9224, Dec 2018.