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

Центр перепідготовки та післядипломної освіти
(повна назва факультету)
кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр
(назва освітнього ступеня)

на тему: **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОЗДОРОВЧОГО ТАБОРУ «ПРОМІНЬ» ВСТАНОВЛЕННЯМ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ**

Виконав студент II курсу, групи ЕТмд-61
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Якимчук П.М. (прізвище та ініціали)

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

Нормоконтроль (підпис) Мовчан Л.Т. (прізвище та ініціали)

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

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

Тернопіль
2024

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

Факультет Центр перепідготовки та післядипломної освіти
(повна назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня *магістр*
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)
студенту *Якимчуку Петру Миколайовичу*
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Підвищення енергоефективності системи електропостачання оздоровчого табору «Промінь» встановленням фотоелектричних панелей*

Керівник роботи *к.т.н., доц.. Коваль В.П.*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
Затверджені наказом ректора від «*10*» *жовтня* 2024 року № 4/7-985
2. Термін подання студентом завершеної роботи до 23.12.2024
3. Вихідні дані до роботи *Дитячий літній табір складається з 9 діючих житлових будинків для проживання дітей, головного корпусу та складських будиночків, які мають централізоване електропостачання*
4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Гібридні сонячні фотоелектричні системи
2. Обґрунтування стану та опис об'єкту
3. Мікромережева фотоелектрична система
4. Проектування та вибір характеристик компонентів системи
5. Динамічне моделювання мікромережевої фотоелектричної системи

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
1. Схема гібридної сонячної фотоелектричної системи
2. Блок-схема, що показує розподіл навантаження дитячих будинків у таборі
3. Характеристики системи для кожного будинку в таборі в Homer Pro
4. Електрична генерація та споживання будинку
5. Гібридна фотоелектрична система головного корпусу
6. Структурна схема системи живлення головного корпусу у Homer Pro
7. Детальний аналіз порівняльного економічного аналізу у Homer Pro
8. Динамічне моделювання мікромережевої фотоелектричної системи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	*Гурик О.Я. к.т.н., доцент кафедри МТ*		
Безпека в надзвичайних	*Клепчик В.М., ст. викладач кафедри ХО*		
ситуаціях			

7. Дата видачі завдання 10.10.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд за напрямком кваліфікаційної роботи	з 01.11.2024	
		по 07.11.2024	
2	Підготовка основної частини пояснювальної записки	з 08.11.2024	
	кваліфікаційної роботи	по 05.12.2024	
3	Підготовка розділу «Охорона праці та безпека в	з 06.12.2024	
	надзвичайних ситуаціях»	по 08.12.2024	
4	Складання переліку використаних літературних джерел	з 09.12.2024	
		по 10.12.2024	
5	Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату	з 11.12.2024	
		по 12.12.2024	
6	Підготовка, оформлення та друк графічного матеріалу	з 12.12.2024	
	кваліфікаційної роботи	по 14.12.2024	
7	Отримання відгуку та рецензії на кваліфікаційну роботу,	з 14.12.2024	
	підготовка доповіді на захист	по 20.12.2024	

Студент _____ Якимчук П.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка має 88 сторінок, __ аркушів презентації, 61 ілюстрацію, 9 таблиць та 88 використаних першоджерел.

Об’єкт дослідження – процес розподілу електричної енергії в мікромережі постійного струму

Предмет дослідження – система генерування та розподілу електроенергії.

Метою кваліфікаційної роботи є: підвищити ефективність та надійність електропостачання дитячих житлових будинків та головного корпусу літнього дитячого табору шляхом впровадження мікромережі постійного струму та фотоелектричної системи.

У кваліфікаційній роботі представлено проектування та моделювання фотоелектричної (PV) системи для будинку та мікромережі постійного струму для літнього дитячого табору. Через віялові відключення та з метою підвищення надійності електроживлення прийнято рішення модернізувати діючу систему електропостачання шляхом встановлення фотоелектричної системи живлення та мікромережі постійного струму напругою 48 В. Фотоелектрична система розрахована за допомогою Homer Pro, а динамічне моделювання було виконано в Simulink. Проведено динамічне імітаційне моделювання мікромережі для житлових будинків дитячого табору в режимі автономної роботи. Результати моделювання показали, що при підключенні ви від’єднанні будинків від спільної шини, надлишкова енергія подається в мікромережу і використовується іншими будинками. Тобто система балансується. В результаті встановлено, що система з фотоелектричних модулів, акумуляторної батареї та аварійного резервного генератора є найкращим, економічно вигідним і надійним варіантом електропостачання в зазначених умовах.

Ключові слова: СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА, МІКРОМЕРЕЖА, ПОСТІЙНА НАПРУГА, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

ЗМІСТ

ВСТУП
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ 10
1.1 Мережева сонячна фотоелектрична система 10
1.2 Гібридні сонячні фотоелектричні системи 11
1.3 Автономна фотоелектрична система для віддаленого проживання 11
1.4 Мікромережева фотоелектрична система 14
1.4.1 Мікромережа постійного струму з децентралізованою системою зберігання 15
1.4.2 Мікромережа постійного струму з централізованою системою зберігання 16
1.5 Висновки до розділу 16
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ 18
2.1 Обґрунтування стану та опис об’єкту 18
2.2 Електричне навантаження житлових дитячих будинків 19
2.3 Проектування та вибір характеристик компонентів системи 21
2.4 Аналіз економічних показників для житлового будинку 23
2.5 Аналіз поступлення та споживання електроенергії у будинку 24
2.6 Аналіз стійкості системи до зміни випадкових факторів 27
2.7 Електричне навантаження головного корпусу 30
2.8 Розрахунок та проектування характеристик компонентів системи електропостачання головного корпусу 31
2.9 Аналіз економічних показників для головного корпусу 34
2.10 Аналіз стійкості системи електропостачання головного корпусу до змінних факторів 37

2.11 Висновки до розділу 39
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ 41
3.1 Динамічне моделювання мікромережевої фотоелектричної системи постійного струму для житлових будинків дитячого табору 41
3.1.1 Підключення до мікромережі 41
3.1.2 Розрахунок номінального струму сонячних фотоелектричних модулів 43
3.1.3 Розрахунок еквівалентного опору навантаження для імітаційного моделювання 45
3.1.4 Характеристики акумуляторної батареї 46
3.1.5 Динамічне моделювання та результати 47
3.2 Динамічне моделювання автономної роботи фотоелектричної гібридної системи живлення головного корпусу 62
3.2.1 Компоненти системи 62
3.2.2 Моделювання системи при 50 % навантаженні і акумулятору зарядженому на 50 % 63
3.2.3 Моделювання системи при повному навантаженні і акумулятору зарядженому на 50% 67
3.2.4 Моделювання системи при повному навантаженні і акумулятору зарядженому на 98 % 70
3.2.5 Моделювання системи при 50 % навантаженні і акумулятору зарядженому на 98 % 72
3.3 Висновки до розділу 74
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 76
4.1 Заходи безпеки при монтажі електроустановок 76
4.2 Допомога при ураженні електричним струмом в електроустановках напругою до 1000 В 78
4.3 Захист від іонізуючих випромінювань 80

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 82
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 84

ВСТУП

Актуальність теми. Значна частина населення світу, що проживає у сільській місцевості, має не надійне або недостатнє електропостачання. Цю проблему можна вирішити шляхом використання відновлювальних енергоресурсів. Відновлювана енергія - це енергія, отримана з ресурсів, які відновлюються або не можуть бути вичерпані. Наприклад, сонячна, вітрова, гідроенергія, енергія хвиль, припливів і відпливів, геотермальна, термальна енергія океану. Ці відновлювані ресурси мають вирішальне значення при розробці екологічно чистої та сталої енергетичної системи. Сонячна енергія є одним з найнадійніших альтернативних джерел енергії; вона має багато переваг, серед яких легка установка фотоелектричної (PV) системи, зниження витрат на обслуговування, відсутність шуму через відсутність рухомих частин.

За останні кілька років з'явилася новий напрямок щодо електричних розподільчих мереж. Замість класичних мереж змінного струму, які особливо асоціюються з мікро- та міні-мережами, використання мереж постійного струму виявилося кращим рішенням з огляду на кілька аспектів. Один з аспектів пов'язаний з розподіленою генерацією, яка асоціюється з відновлюваними джерелами енергії. Іншими аспектами є використання систем зберігання енергії, надійність електричних мереж та навантаження з високою енергоефективністю. Завдяки цим аспектам мережі постійного струму зараз вважаються дуже привабливими, особливо в контексті сучасних інтелектуальних систем розподілу електроенергії.

Беручи до уваги розвиток сучасних технологій та майбутню реальність електричних генераторів і навантажень, мікромережі постійного струму почали з'являтися як важлива альтернатива інфраструктурі змінного струму. Очікується, що в найближчому майбутньому інфраструктури змінного і постійного струму будуть представлені як взаємодоповнюючі рішення.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є: підвищити ефективність та надійність електропостачання дитячих житлових будинків та

головного корпусу літнього дитячого табору шляхом впровадження мікромережі постійного струму та фотоелектричної системи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Встановити ефективність мікромережі постійного струму в житлових будинках табору.
2. Дослідити вплив процесів підключення чи відключення будинків від спільної шини постійного струму та зміну сонячного випромінювання на стан та стабільність системи в автономному режимі.
3. Провести розрахунок системи електропостачання на основі фотоелектричних панелей головного корпусу табору.
4. Провести динамічне імітаційне моделювання мікромережі для житлових будинків дитячого табору в режимі автономної роботи.
5. Виконати динамічне імітаційне моделювання гібридної фотоелектричної системи з резервним акумулятором і генератором для головного корпусу.

Об’єкт дослідження – процес розподілу електричної енергії в мікромережі постійного струму.

Предмет дослідження – система генерування та розподілу електроенергії.

Наукова новизна отриманих результатів.

Дістав подальший розвиток аналіз роботи мікромережі постійного струму в перехідних режимах при зміні генерації та споживання електроенергії.

Практичне значення отриманих результатів.

Запропонована система електропостачання може бути запроваджена в літніх дитячих таборах так як мікромережа постійного струму 48 В є безпечною для дітей, надійною у використанні і дешевшою у побудові оскільки не потребує використання інверторів.

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

року. ТНТУ [1]

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

Робота оформлена відповідно до методичних рекомендацій [2].

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Мережева сонячна фотоелектрична система

Мережеві сонячні фотоеклектричні станції - це великі фотоелектричні системи, і існують різні методи підключення їх до електромережі. Наприклад: централізована схема, коли один інвертор використовується для багатьох фотоелектричних модулів; схема, коли один інвертор використовується для кожного стрінгу це багатострінгова технологія. Сучасна тенденція - один інвертор на кожну муфту змінного струму модуля.

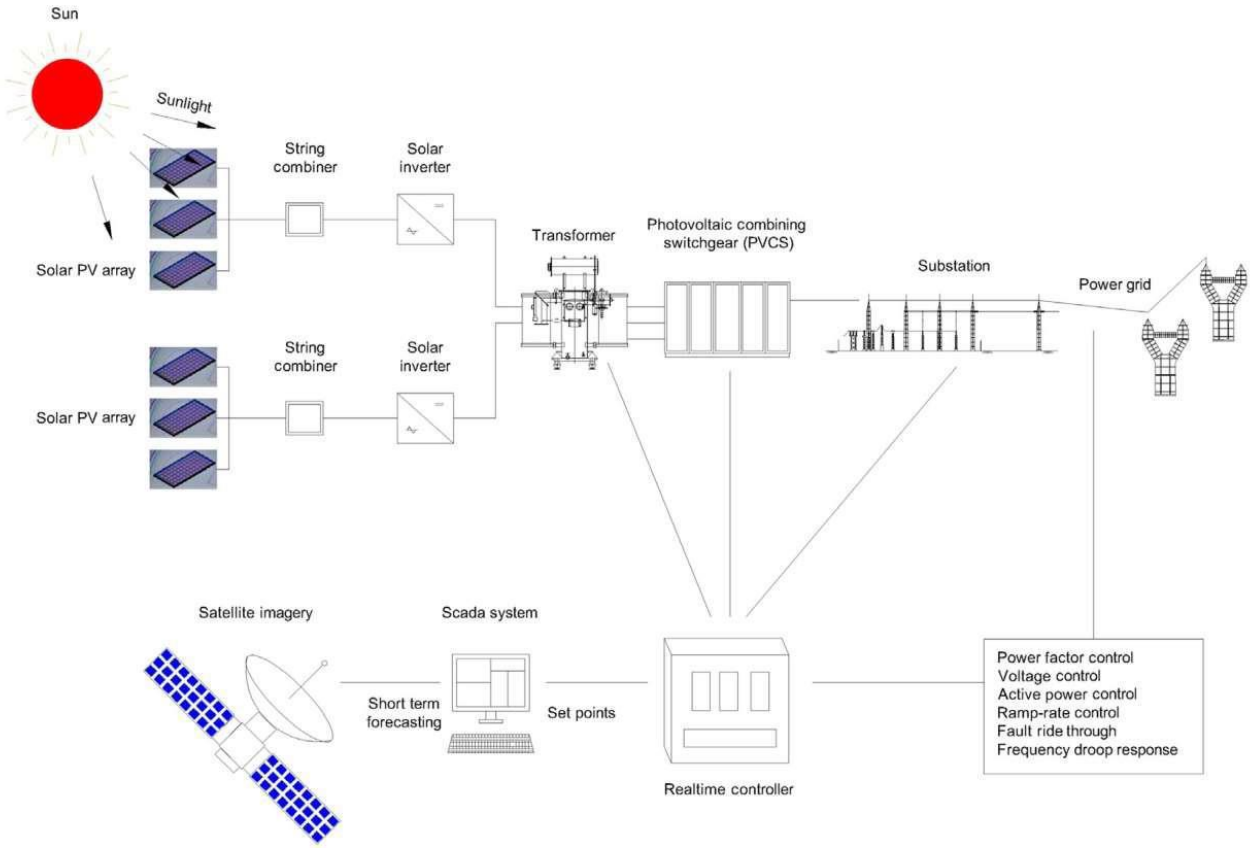


Рисунок 1.1 - Схема мережевої сонячної фотоелектричної системи

На рисунку 1.1 вище показана схема мережевої сонячної фотоелектричної системи. Зазвичай, вони також мають систему SCADA (диспетчерського контролю та збору даних), яка реєструє дані (тобто напругу, струми, струми), що надходять з різних точок системи. Вони реєструють і контролюють коефіцієнт потужності, виконують контроль напруги, контроль активної

потужності, контроль швидкості наростання, проходження несправностей, реакцію на падіння частоти. Існує також контролер реального часу, наприклад, у випадку збою живлення в мережі, перемикач відключить систему від мережі. Що стосується реєстрації даних, якщо це віддалена система, то дані з системи реєстрації даних можуть передаватися через супутник. Якщо система знаходиться поблизу міста, або якщо лінія зв'язку проходить поруч з лінією електропередач, то вона може бути підключена через оптоволокно або через звичайні телефонні лінії.

1.2 Гібридні сонячні фотоелектричні системи

Гібридні системи - це системи, які складаються з традиційної генерації та одного або декількох відновлюваних джерел енергії [3-5] . Для віддалених таборів міні/мікро-мережі на основі гібридних фотоелектричних систем (рис.1.2) є найбільш економічно ефективним та оптимальним рішенням у порівнянні з розширенням електромережі до цих віддалених районів [6]. Для місцевих таборів, які мають недостатнє постачання електроенергії або в більшості випадків не мають доступу до електроенергії, різні автономні системи, такі як міні-мережі, мікромережі або ізольовані автономні системи, будуть найкращим варіантом як з економічної, так і з технічної точки зору забезпечення електроенергією.

1.3 Автономна фотоелектрична система для віддаленого проживання

Більшість гібридних систем є автономними системами, які працюють «поза мережею» [4] (тобто не підключені до системи розподілу електроенергії/комунальних послуг). На час, коли ні вітрові, ні сонячні системи не працюють, більшість гібридних систем забезпечують електроенергією акумулятори та/або двигун-генератор, що працює на традиційному паливі,

наприклад, дизельному. Якщо батареї розряджаються, генератор може живити і заряджати батареї.

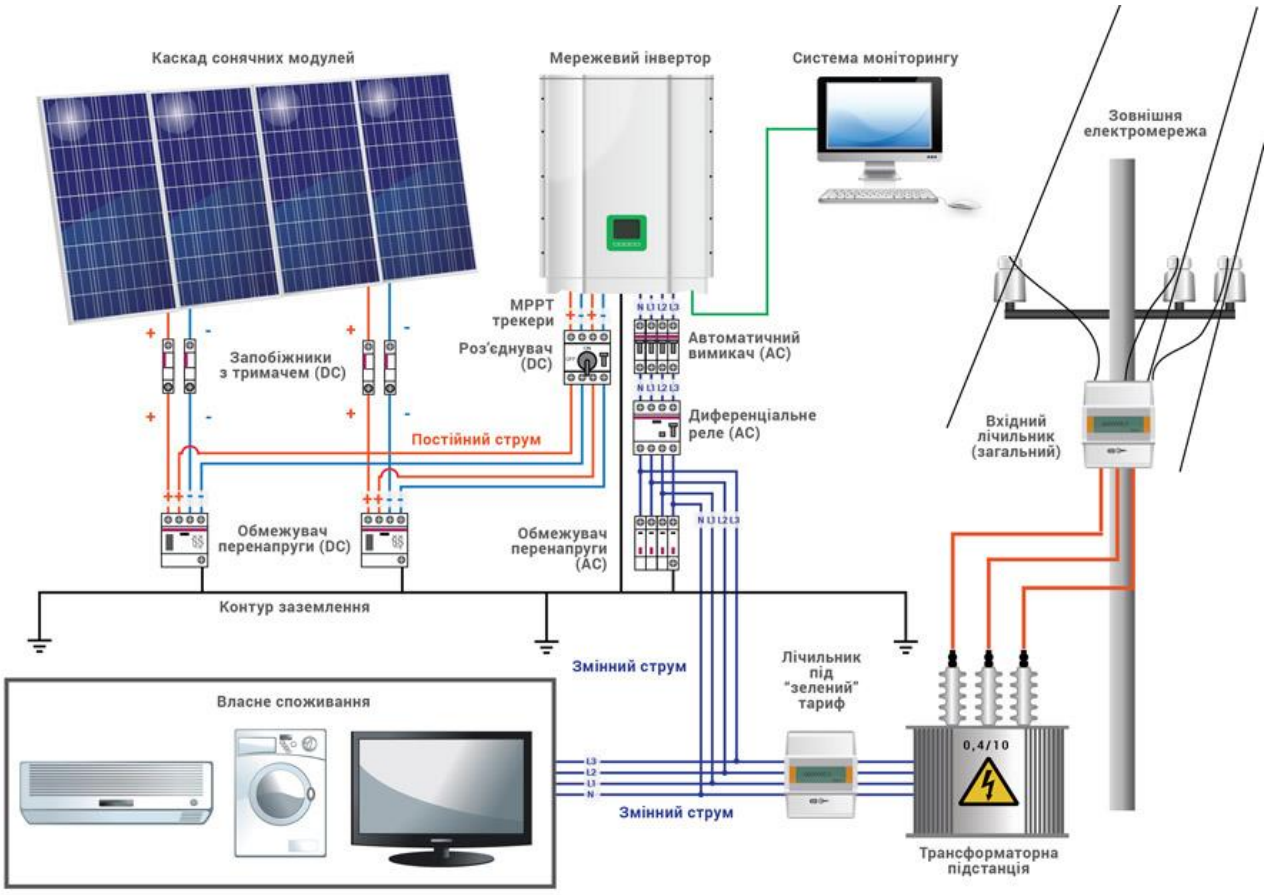


Рисунок 1.2 - Схема гібридної сонячної фотоелектричної системи

Більшість домогосподарств країн третього світу у віддалених районах не мають доступу до електроенергії або страждають від її недостатнього постачання. Для того, щоб задовольнити попит на енергію, більшість будинків з низьким рівнем доходу вдаються до використання дизельних генераторів, незважаючи на високу вартість обслуговування та забруднення навколишнього середовища, спричинене викидами газів від генератора, вони вважають це більш доступним варіантом, ніж відновлювані джерела енергії. Причиною цього є обмежена інформація про переваги автономних систем, незнання фактичної вартості життєвого циклу та найкращого способу збільшення капітальних витрат.

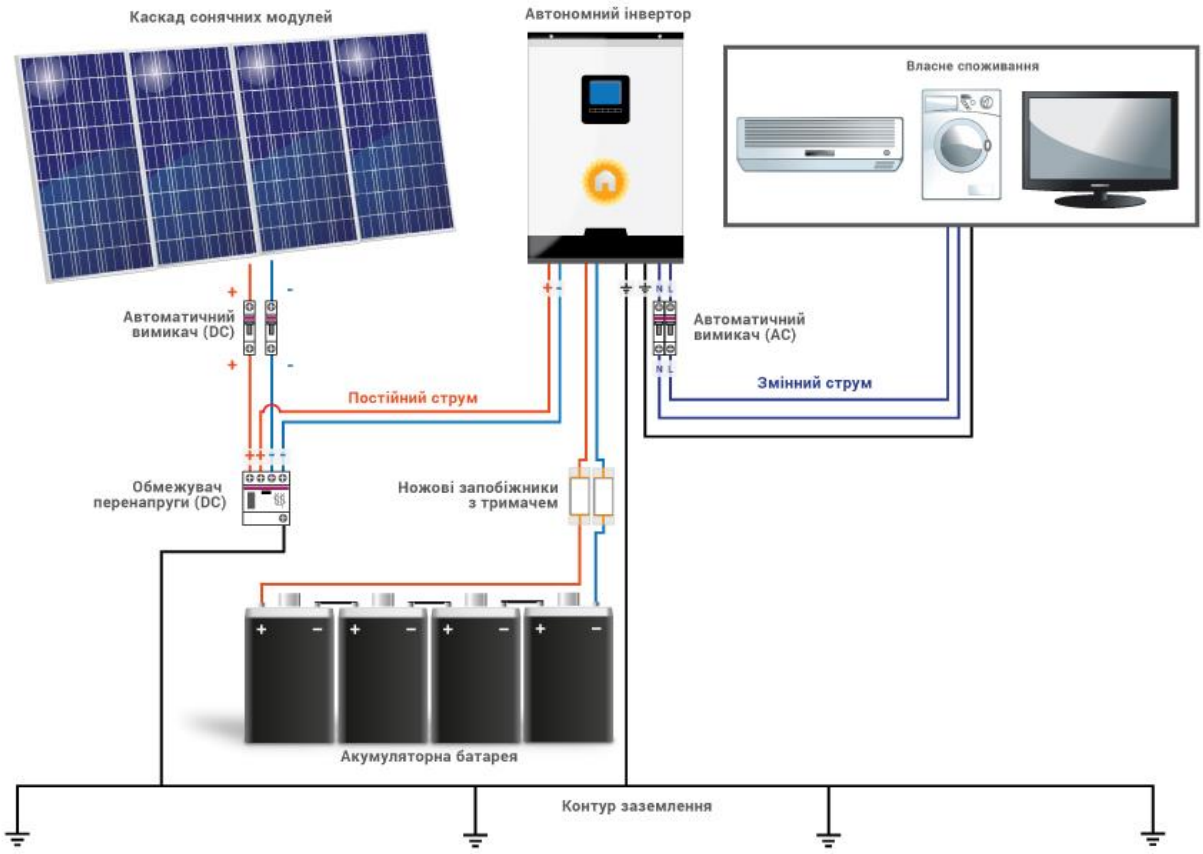


Рисунок 1.3 - Автономна сонячна фотоелектрична система

На рис. 1.3 показана автономна фотоелектрична система. Автономна/ізольована фотоелектрична система іноді складається з декількох компонентів, таких як акумулятор, DC-DC перетворювач, DC-AC інвертор, генератор напруги, акумулятор, аварійні резервні генератори. Фотоелектричний елемент є основним джерелом енергії і виготовляється з напівпровідників, які перетворюють сонячне світло в електроенергію, серії елементів з'єднуються разом, утворюючи модуль, а модулі з'єднуються послідовно і паралельно, утворюючи масив [7-10]. Акумуляторна батарея - це накопичувач, який зберігає електричну енергію, вироблену фотоелектричними модулями, і в основному використовується під час заходу сонця, коли фотоелектричні модулі більше не виробляють енергію для живлення навантаження. Щоб запобігти перезарядженню/перерозрядженню батареї та реверсу струму, зазвичай використовується контролер заряду. Для будинку з навантаженням змінного струму використовується інвертор, який перетворює постійний струм що

надходить від фотоелектричних модулів, в змінний струм. DC-DC перетворювачі використовуються здебільшого для підвищення або зниження напруги. Існує три типи DC-DC перетворювачів: підвищувальний, понижувальний і підвищувально-понижувальний.

1.4 Мікромережева фотоелектрична система

Мікромережа на основі фотоелектричних модулів (рис.1.4) - це локально обмежена і незалежно керована електроенергетична система, в якій архітектура розподілу інтегрує як розподілені навантаження, так і розподілені джерела енергії.

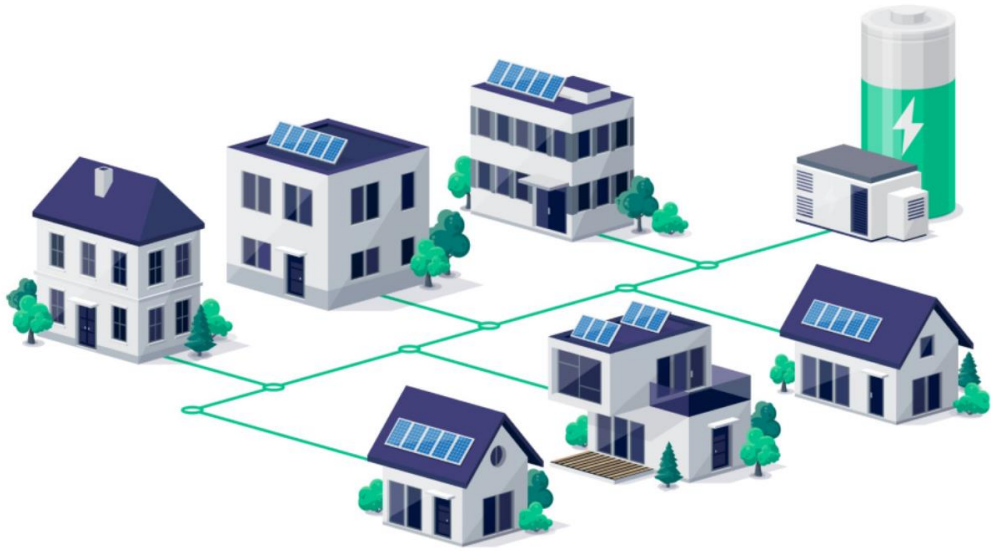


Рисунок 1.4 - Автономна сонячна фотоелектрична система

Найпоширенішим варіантом архітектури проектування віддалених мікромереж є ізольована топологія; це пов'язано з тим, що вони розташовані далеко від існуючих мереж електропередач. Малі мікромережі можуть бути підключені до комунальної мережі для покращення економічної ефективності системи, покращення роботи, підвищення стабільності, а натомість комунальна мережа також отримує покращення доступності електроенергії, покращення стабільності та зменшення січення провідників [11-13].

Малі мікромережі можна класифікувати на мережі змінного або постійного струму в залежності від напруги на загальній шині. Більшість побутових навантажень потребують електроенергії змінного струму, а змінний струм є основною формою передачі та розподілу електроенергії в усьому світі, що обумовлює важливість напруги на загальній шині, що підключена до змінного струму. Традиційно змінний струм дозволяє ефективно передавати напругу і високовольтну енергію на великі відстані. Однак, існують проблеми, пов'язані з мікромережевими системами змінного струму, які включають в себе:

- необхідність регулювання значень напруги та частоти за допомогою контролю активної та реактивної потужності;

- у випадках, коли децентралізованим джерелом живлення є синхронний генератор, що має вихід змінного струму і підключений безпосередньо до електромережі без належного силового електронного інтерфейсу, стабільність контролюється за допомогою регулювання крутного моменту і швидкості валу машини.

У цій кваліфікаційній роботі ми зосереджуємося на мікромережі з підключенням до мережі постійного струму. Це пов'язано з тим, що мала мікромережа, яка використовує шину постійного струму, уникає багатьох етапів перетворення енергії, необхідних при використанні шини змінного струму. Це призводить до підвищення енергоефективності та економії коштів. З точки зору стабільності, оскільки системи з шинами постійного струму не мають взаємодії реактивної потужності, існує мало проблем зі стабільністю порівняно з системами з шинами змінного струму. Існують різні типи конфігурацій мережі Microgrid з підключенням до мережі постійного струму.

1.4.1 Мікромережа постійного струму з децентралізованою системою зберігання

У цій системі напруга, що генерується фотоелектричними модулями, розподіляється у формі постійного струму по всій таборі. Кожен будинок також

має систему зберігання (батарею) для резервного живлення в нічний період або в дощові дні, коли немає достатньої кількості сонячного світла.. Для відстеження максимальної потужності до кожної фотоелектричної системи підключені DC-DC перетворювачі та контролери для підтримки потужності на максимумі, а також для контролю заряду системи зберігання (акумулятора).

1.4.2 Мікромережа постійного струму з централізованою системою зберігання

Ця система подібна до мікромережі постійного струму з децентралізованою системою зберігання, за винятком того, що в цьому випадку система зберігання є централізованою. Існує потреба в DC-DC перетворювачі для відстеження максимальної потужності для кожної фотоелектричної системи.

Для кожної фотоелектричної системи контроль заряду здійснюється центральним перетворювачем відповідного розміру, який підключений до центральної батареї. Недоліком цієї системи є те, що майбутнє підключення до мікромережі буде складним, оскільки зі збільшенням попиту буде пропорційно збільшуватися ємність акумуляторів, що призведе до придбання нового центрального DC-DC перетворювача відповідної потужності, щоб задовольнити вимоги системи. Така система вимагатиме більших витрат на обслуговування та модернізацію.

1.5 Висновки до розділу

1. Проведено огляд систем виробництва та розподілу електроенергії від сонячних фотоелектричних станцій.
2. Показано, що цей вид енергії спрямований на боротьбу з нинішнім станом забруднення навколишнього середовища, спричиненим

викидами чадного газу в результаті надмірного використання викопного палива.

3. В результаті аналізу попередніх досліджень за темою даної роботи обрана система живлення на основі мікромережі постійного струму напругою 48 В. Для розрахунку параметрів та економічного аналізу було обрано програму Homer Pro, а для динамічного моделювання систем - Matlab Simulink.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Обґрунтування стану та опис об’єкту

Проблеми, з якими стикаються при розширенні електрифікації не заселених районів, наприклад гірських, - це інфраструктура та будова електростанцій. Традиційним підходом до задоволення таких потреб є підключення цих віддалених районів до електромережі, але це було б дуже дорого і непрактично, оскільки більшість цих віддалених районів знаходяться так далеко від великих міст, що втрати на лініях та витрати на їх обслуговування були б занадто великими. Незважаючи на це, електроенергія в цій місцевості необхідна для належного освітлення та роботи електроніки. Відновлювана енергія є найкращим рішенням для забезпечення енергією ізольованих районів [14-22]. Використання місцевих ресурсів є найкращим можливим варіантом для задоволення енергетичних потреб [16]. Система на основі однієї технології (сонячна фотоелектрична енергія / вітер / малі ГЕС) є життєздатним варіантом для забезпечення енергією ізольованих районів [23]. Неелектрифіковані сільські райони, такі як хутори або невеликі села, які знаходяться далеко від електромережі, можуть бути електрифіковані за допомогою однієї технології. Одне з можливих рішень - побудувати електростанцію з використанням автономної енергосистеми. Автономна енергосистема може складатися з фотоелектричної батареї або генераторної установки для забезпечення загального навантаження. Автономні фотоелектричні (ФЕ) системи розроблені та розраховані для забезпечення певних електричних навантажень змінного та/або постійного струму [24].

Обраний об’єкт електропостачання, а саме дитячій табір «Промінь» розташований у Тернопільській області. Табір складається з 9 діючих житлових будинків для проживання дітей, головного корпусу та складських будиночків, які мають централізоване електропостачання. Проте через віялові відключення та з метою підвищення надійності електроживлення необхідно

модернізувати діючу систему електропостачання шляхом встановлення фотоелектричної станції та мікромережі постійного струму на 48 В. Дана система матиме ряд переваг, найважливіша з яких це безпека дітей при користуванні електроприладами, оскільки вони живитимуться низькою напругою. Будинки розташовані на відстані не більше 100 м один від одного, як показано на рисунку 2.1.

У фотоелектричній системі кожен будинок має фотоелектричні (ФЕ) панелі та акумуляторні батареї. Всі навантаження підключені до шини 48 В. Всі навантаження є навантаженнями постійного струму. Розміри та характеристики системи були визначені за допомогою імітаційного програмного забезпечення Homer Pro.

Рисунок 2.1 - Розташування дитячого табору «Промінь» (Google Maps)

2.2 Електричне навантаження житлових дитячих будинків

Кожне домогосподарство в таборі має кілька навантажень, які потрібно живити, в основному це освітлювальні прилади, настільний вентилятор, планшет/мобільний телефон та телевізор. Детальний типовий розподіл навантаження кожного домогосподарства представлено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Добова потреба в енергії для будинку 1 у таборі

Прилади	Кількість	Потужність (Вт)	Всього Потужність (Вт)	Щоденне використання (годин)	Енергія (Вт·год/день)
Світлодіодна лампа	3	18	54	10	540
Вентилятор	2	10	20	9	180
Планшет/мобільний телефон	1	5	5	8	40
Телебачення	1	30	30	8	240
Разом:			109		1000

На рис.2.2 нижче показано відсотковий розподіл навантаження 9 дитячих будинків у таборі для ізольованої мікромережі постійного струму з перетворювачем.

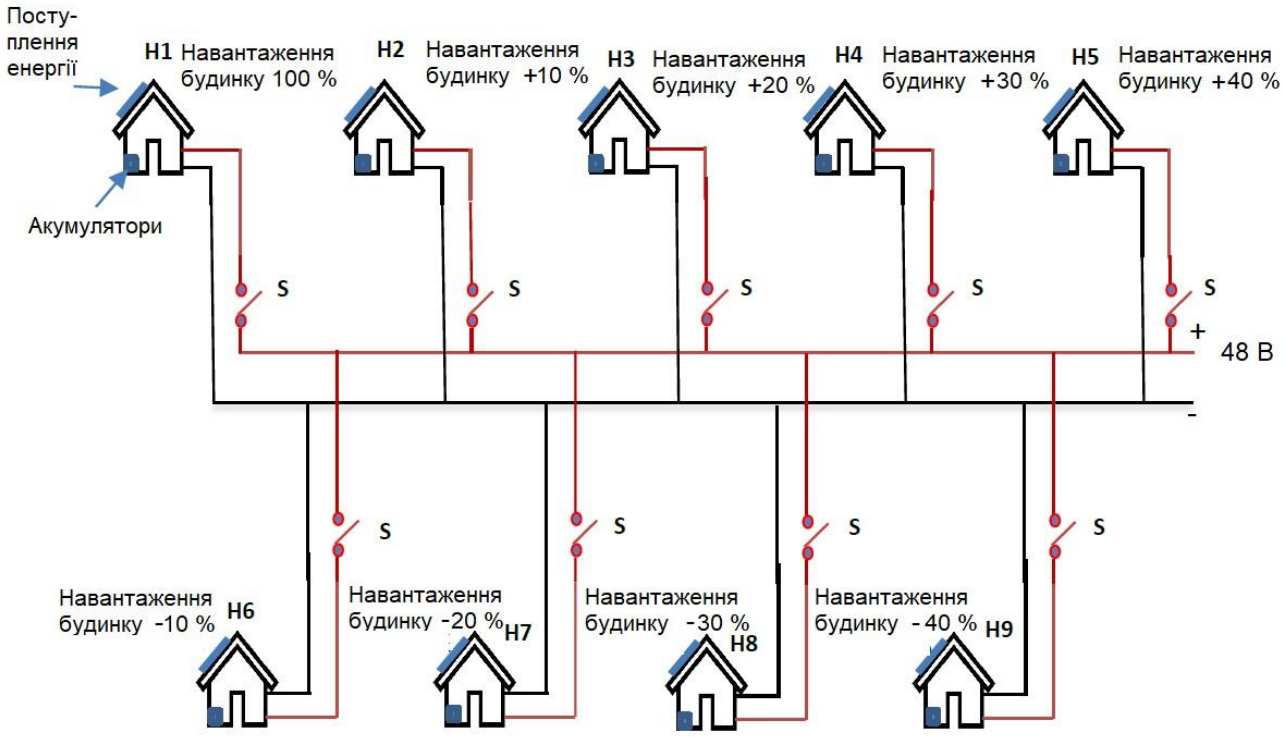


Рисунок 2.2 - Блок-схема, що показує розподіл навантаження дитячих будинків у таборі

З будинком 1 як еталоном і варіацією навантаження ±10%, розподіл навантаження від будинку 1 до будинку 9 становить 1 кВт·год/день, 1,1 кВт·год/день, 1,2 кВт·год/день, 1,3 кВт·год/день, 1,4 кВт·год/день,

0,9 кВт·год/день, 0,8 кВт·год/день, 0,7 кВт·год/день і 0,6 кВт·год/день. Кожен будинок має фотоелектричну систему, акумуляторну батарею та вимикач для підключення/відключення від мікромережі, якщо вони вирішать це зробити.

2.3 Проектування та вибір характеристик компонентів системи

Система складається з високоефективних монокристалічних сонячних панелей Jarret Solar 100 Вт та гелевих акумуляторів LogicPower LPM-MG на 12 В, 45 А·год, підключених до шини 48 В (рис.2.5). Інвертор в системі відсутній. Навантаження будинку становить 48В, 12В і 5В. Два DC-DC перетворювачі використовуються для отримання 12 В і 5 В з 48 В. Телевізор і деякі світильники працюють на 48 В. Деякі лампи та вентилятор працюють на 12 В. Планшет/мобільний телефон потребує 5 В для зарядки.

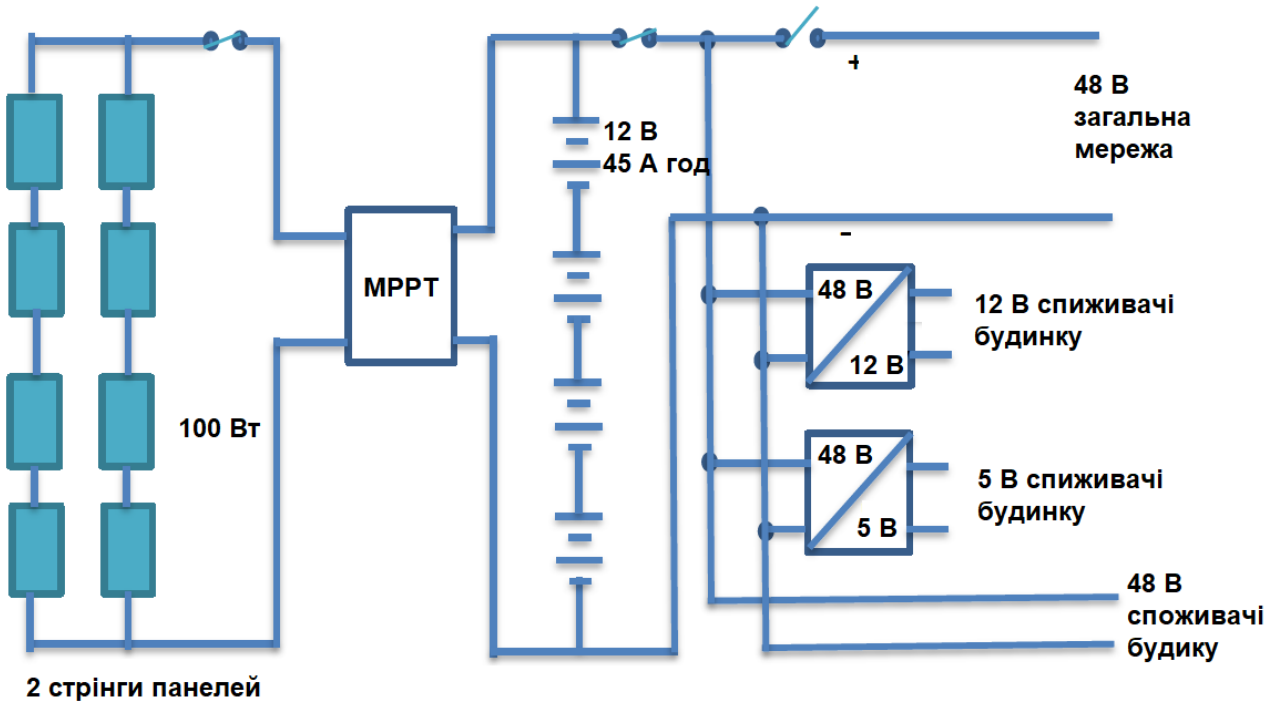


Рисунок 2.5 - Компонент системи в дитячому будинку

Система була спроектована в Homer Pro (рис. 2.4) [25]. На рис. 2.5 показано результат моделювання для 9 будинків з різним електричним

навантаженням. Відповідно до проведених розрахунків (рис.2.5), для будинку з навантаженням 0,6 кВт·год/добу, потрібно 417 Вт встановлених фотоелектричних панелей і 4 акумуляторні батареї. Для будинку з навантаженням 0,7 кВт·год/добу необхідно 323 Вт фотоелектричних панелей і 8 акумуляторів, з такою конфігурацією досягається найвищий час автономної роботи 88,9 годин, що означає, що за відсутності сонячної енергії резервна батарея може працювати до 4 днів.

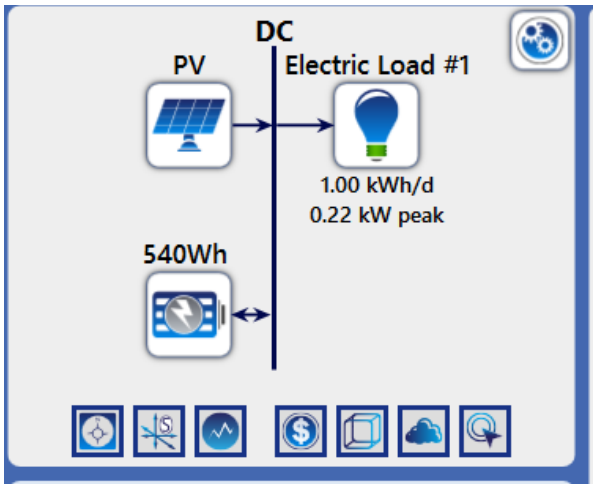


Рисунок 2.4 - Структурна схема системи в Homer Pro

Sensitivity	Architecture					Cost				System		PV			540Wh
Electric Load #1 Scaled Average (kWh/d)			PV (kW)	540Wh	Dispatch	NPC (US$)	COE (US$)	Operating cost (US$/yr)	Initial capital (US$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Capital Cost (US$)	Production (kWh/yr)	Autonomy (hr)	Annual Through (kWh/yr)
0.600			0.417	4	CC	$2,407	$0.851	$108.49	$1,004	100	0	304	569	51.8	131
0.700			0.323	8	CC	$3,780	$1.15	$165.90	$1,636	100	0	236	440	88.9	160
0.800			0.396	8	CC	$3,928	$1.04	$173.22	$1,689	100	0	289	540	77.8	182
0.900			0.863	4	CC	$3,310	$0.780	$153.13	$1,330	100	0	630	1,178	34.6	191
1.10			1.21	4	CC	$4,015	$0.774	$188.00	$1,585	100	0	885	1,654	28.3	231
1.20			0.827	8	CC	$4,799	$0.848	$216.29	$2,003	100	0	603	1,128	51.8	263
1.30			0.958	8	CC	$5,066	$0.827	$229.47	$2,100	100	0	700	1,308	47.9	283
1.40			0.759	12	CC	$6,226	$0.943	$276.33	$2,654	100	0	554	1,036	66.7	314
1.00			0.576	8	CC	$4,293	$0.911	$191.27	$1,821	100	0	421	787	62.2	223

Рисунок 2.5 – Характеристики системи для кожного будинку в таборі в Homer Pro

Для будинку з навантаженням 800 Вт·год/добу необхідні відповідно 396 Вт фотоелектричних панелей і 8 батарей. Для будинку з навантаженням 0,9 кВт·год/добу необхідно 863 Вт фотоелектричних панелей та 4 батареї. Для будинку з енергоспоживанням 1100 Вт·год/добу, необхідно 1210 кВт фотоелектричних панелей та 4 батареї. Для будинку з навантаженням 1200 Вт·год/добу необхідно 827 Вт фотоелектричних панелей та 8 батарей. Для

будинку з навантаженням 1300 Вт·год/добу, необхідно 958 Вт фотоелектричних панелей та 8 батарей. Для будинку з навантаженням 1400 Вт·год/добу необхідно 759 Вт фотоелектричних панелей і 12 батарей. Для будинку з навантаженням 1000 Вт·год/добу необхідно 576 Вт фотоелектричних панелей і 8 батарей. Для всіх будинків частка відновлюваної енергії становить 100 %, а початкові витрати, капітальні витрати та експлуатаційні витрати варіюються від одного будинку до іншого. Скажімо, будинок потребує 0,759 кВт і кожен фотомодуль має потужність 100 Вт, 12 В, тоді чотири модулі будуть використовуватися послідовно (800 Вт загалом), щоб мати систему на 48 В. Були обрані невеликі фотомодулі та акумулятори, які можна переносити та переміщувати без потреби в транспортному засобі та дорозі, яких немає в таборі.

2.4 Аналіз економічних показників для житлового будинку

Homer Pro також виконує економічний аналіз для визначення доцільності впровадження системи з фінансових міркувань [25]. Зведений кошторис витрат за результатами моделювання показує детальну розбивку вартості системи, яка складається з капітальних витрат, вартості заміни, витрат на експлуатацію та обслуговування (ЕО), ліквідаційної вартості та загальної вартості кожного компонента. Загальна вартість усіх компонентів дає чисту приведену вартість (ЧПВ) системи на одне домогосподарство. У Таблиці 2.2 нижче наведені всі деталі витрат для всіх будинків у таборі.

Для будинку 9 з електричним навантаженням 0,6 кВт·год/добу, аналіз Homer Pro показує, що чисті приведені витрати (ЧПВ) на встановлення, експлуатацію та обслуговування цієї системи становлять $2,407, початкові капітальні витрати - $1,004, експлуатаційні витрати - $108,49. На рис. 2.6 нижче показано зведені витрати та розбивку витрат на компоненти.

Таблиця 2.2. Вартість системи для кожного будинку в таборі

Будинок	Електричне навантаження (кВт·год/добу)	Фотоелектрична станція (кВт)	Батарея 12 В	ЧПВ ($)	Експлуатаційна вартість ($/рік)	Початкові капітальні витрати ($)	Капітал вартість ($)	Автономність (год)
Будинок 1	1,0	0,576	8	$4,293	$191,27	$1,821	$421	62,2
Будинок 2	1,1	1,21	4	$4,015	$188,00	$1,585	$885	28,3
Будинок 3	1,2	0,827	8	$4,799	$216,29	$2,003	$603	51,8
Будинок 4	1,3	0,958	8	$5,066	$229,47	$2,100	$700	47,9
Будинок 5	1,4	0,759	12	$6,226	$276,33	$2,654	$554	66,7
Будинок 6	0,9	0,863	4	$3,310	$153,13	$1,330	$630	34,6
Будинок 7	0,8	0,396	8	$3,928	$173,22	$1,689	$289	77,8
Будинок 8	0,7	0,323	8	$3,780	$165,90	$1,636	$236	88,9
Будинок 9	0,6	0,417	4	$2,407	$108,49	$1,004	$304	51,8

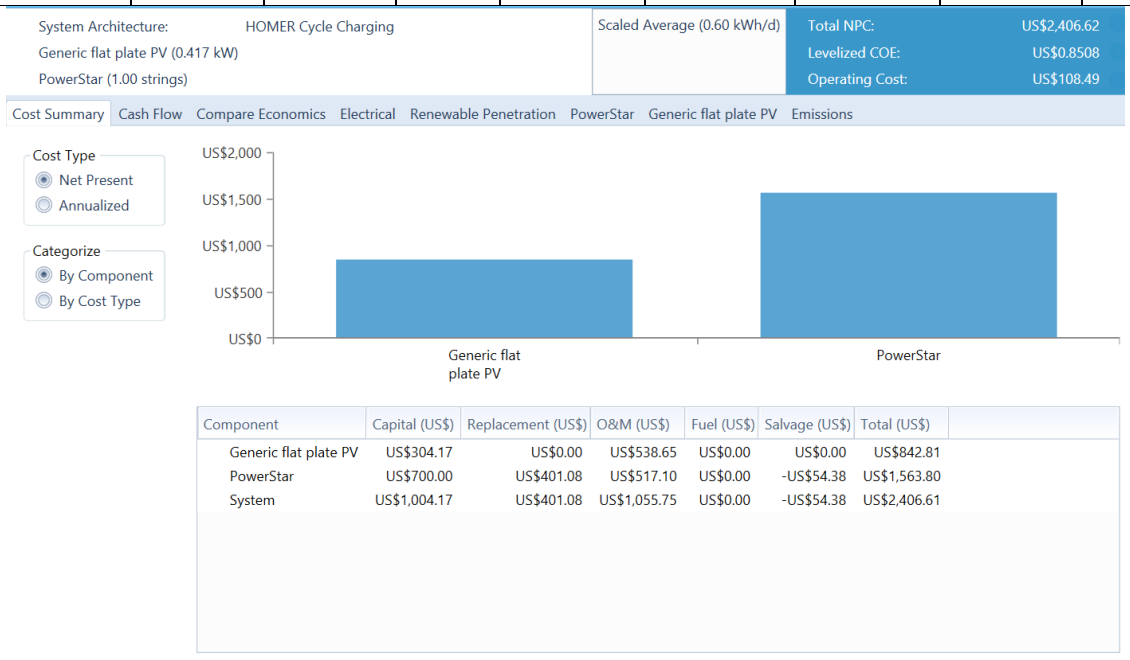


Рисунок 2.6 – Кошторис витрат на будинок 9, отриманий шляхом розрахунків в системі Homer Pro

На рис. 2.6 вище показано зведений кошторис витрат на будинок 9. Він також показує капітальні витрати, вартість заміщення, експлуатаційні витрати, вартість утилізації та загальну вартість для кожного компонента системи. Для фотоелектричних модулів капітальні витрати становлять $304,17, витрати на експлуатацію та обслуговування (ЕО) - $538,65, що дає загальну вартість у $842. 81. капітальні витрати на акумуляторну батарею становлять $700, вартість заміни - $401,08, витрати на експлуатацію та обслуговування - $517,10, утилізаційні витрати - $54,38, що дає загальну вартість $1 563,80. загальна вартість обох компонентів (фотоелектричних модулів та акумуляторної батареї) дає ЧВП системи. Інформацію про капітальні витрати, початковий капітал, експлуатаційні витрати та ЧВП для інших будинків у таборі можна знайти в таблиці 2.2 вище.

2.5 Аналіз поступлення та споживання електроенергії у будинку

На рис. 2.7 показано електричну генерацію та споживання для будинку 1 з навантаженням 0,6 кВт·год/добу. Результат удосконалення за допомогою програми Homer показав [26], що найбільш ефективною системою для будинку є фотоелектрична система потужністю 0,417 кВт та 1 акумуляторна батарея напругою 48 В. Система була змодельована з використанням шини 48 В, що вимагає 4 обраних фотоелектричних модулів, з'єднаних послідовно, і 4 обраних акумуляторні батареї, з'єднані також послідовно. Результат також показує 100% частку відновлюваної енергії та надлишок електроенергії в 321 кВт·год/рік. Результат удосконалення показує, що автономність системи становить 51,8 годин, що означає, що у випадку відсутності сонячного ресурсу через дощові дні акумуляторна система може забезпечувати електроенергією до 2 днів.

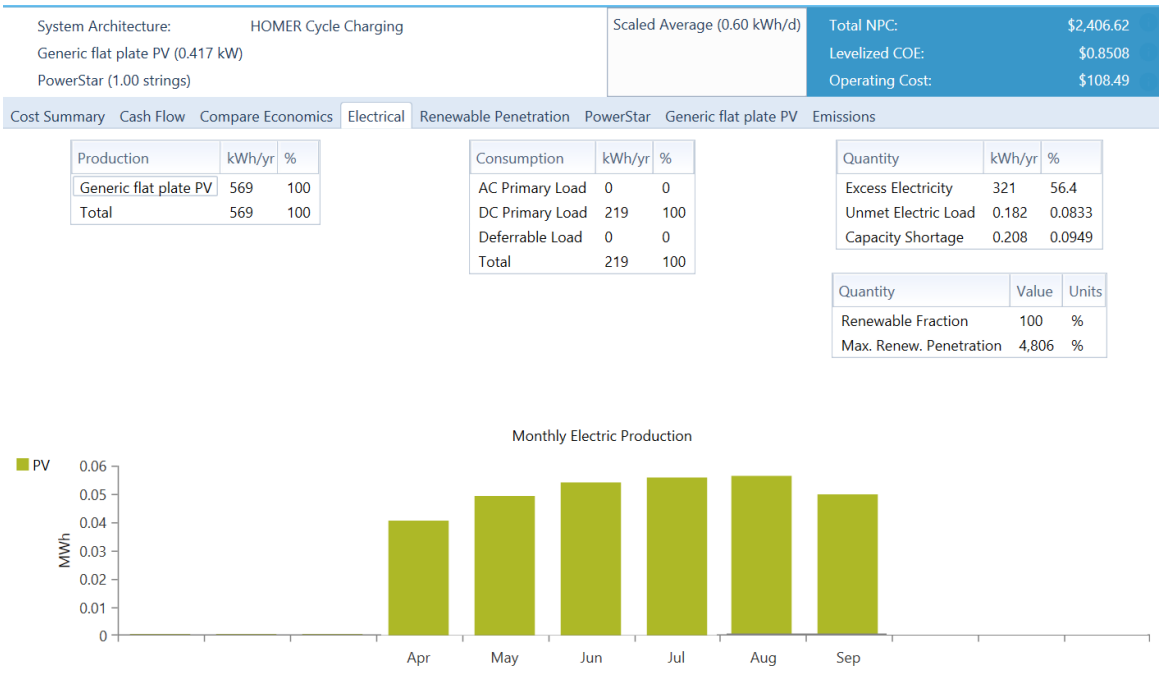


Рисунок 2.7 – Електрична генерація та споживання одного будинку в таборі

Щомісячне виробництво електроенергії за рік також показує щомісячне виробництво фотоелектричної енергії протягом одного року, графік показує пікове виробництво в місяцях травень, червень, липень і серпень, а найнижче виробництво в квітні.

Кожен будинок має фотоелектричну систему, яка підключена до мікромережі постійного струму табору через перемикач. В обраному таборі фотоелектричну систему без системи вимірювання важко обслуговувати через недостатню кваліфікацію та брак знань. Батареї можуть розрядитися через необережність. Якщо всі будинки підключені до мікромережі постійного струму, то люди можуть ділитися надлишком виробленої електроенергії з сусідами, що призведе до підвищення надійності системи. Якщо на одному з будинків забули почистити фотомодулі від пилу чи посліду, то деякий час енергія може надходити від сусідів. В тому якраз і є перевага спільної шини 48 В у таборі, як показано на рис. 2.2.

Рисунок 2.8 - Детальний аналіз часових рядів вихідної потужності фотоелектричної системи для мешканця

Період падіння заряду акумуляторної батареї з 100% до 40% припадає на період з червня по вересень, тоді як вихідна потужність сонячної фотоелектричної станції змінюється майже протягом року. У мікромережі постійного струму таке різке падіння менш ймовірне через розподіл потужності між сусідніми будиночками.

2.6 Аналіз стійкості системи до зміни випадкових факторів

Аналіз чутливості, який також називають аналізом «що, якщо», має вирішальне значення для розуміння надійності проекту. Він дозволяє зрозуміти, як зміна вхідних даних вплине на вибір системи з найменшими витратами.

У цій розрахунковій моделі аналіз чутливості виконується для сонячного опромінення. Введення діапазону сонячного випромінювання від 4,14 кВт·год/м^2 /день до 5 кВт·год/м^2 /день через фактори зміни клімату, такі як менша хмарність у певні пори року, призводить до збільшення сонячного випромінювання, а накопичення пилу на фотоелектричних перетворювачах призводить до зниження ефективності фотоелектричних перетворювачів.

Через такі фактори зміни клімату, як менша хмарність у певні пори року, сонячне випромінювання збільшується, тому результат удосконалення також враховує цю змінну, оптимізуючи систему зі значенням сонячного

випромінювання 5,00 кВт·год/м^2 /день. Результат удосконалення показує різні навантаження будинків і найкращу можливу конфігурацію для оптимального та ефективного постачання електроенергії до житлових будинків у таборі. На рис. 2.9 нижче показано результати аналізу чутливості системи, отримані за допомогою Homer Pro.

Export... Export All... **Sensitivity Cases** Left Click on a sensitivity case to see its Optimization Results. Compare Economics Column Choices...

Sensitivity		Architecture			Cost				System		PV		
Electric Load #1 Scaled Average (kWh/d)	Solar Scaled Average (kWh/m²/day)	PV (kW)	540Wh	Dispatch	NPC (US$)	COE (US$)	Operating cost (US$/yr)	Initial capital (US$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Capital Cost (US$)	Production (kWh/yr)	Autonon (hr)
0.600	4.14	0.469	4	CC	$2,512	$0.888	$113.69	$1,042	100	0	342	571	51.8
0.600	4.63	0.417	4	CC	$2,407	$0.851	$108.49	$1,004	100	0	304	569	51.8
0.600	5.00	0.385	4	CC	$2,343	$0.828	$105.34	$981.18	100	0	281	568	51.8
0.700	4.14	0.364	8	CC	$3,865	$1.17	$170.07	$1,666	100	0	266	444	88.9
0.700	4.63	0.323	8	CC	$3,780	$1.15	$165.90	$1,636	100	0	236	440	88.9
0.700	5.00	0.299	8	CC	$3,732	$1.13	$163.50	$1,618	100	0	218	440	88.9
0.800	4.14	0.437	8	CC	$4,011	$1.06	$177.31	$1,719	100	0	319	532	77.8
0.800	4.63	0.396	8	CC	$3,928	$1.04	$173.22	$1,689	100	0	289	540	77.8
0.800	5.00	0.364	8	CC	$3,865	$1.02	$170.07	$1,666	100	0	266	537	77.8
0.900	4.14	0.530	8	CC	$4,199	$0.990	$186.62	$1,787	100	0	387	645	69.1
0.900	4.63	0.863	4	CC	$3,310	$0.780	$153.13	$1,330	100	0	630	1,178	34.6
0.900	5.00	0.450	8	CC	$4,037	$0.951	$178.59	$1,728	100	0	328	663	69.1
1.10	4.14	0.777	8	CC	$4,699	$0.906	$211.32	$1,967	100	0	567	946	56.6
1.10	4.63	1.21	4	CC	$4,015	$0.774	$188.00	$1,585	100	0	885	1,654	28.3
1.10	5.00	0.650	8	CC	$4,443	$0.857	$198.68	$1,875	100	0	475	959	56.6

Рисунок 2.9 - Аналіз чутливості проектування системи в Homer Pro

На рис. 2.9 вище показано деякі результати аналізу чутливості для табору. Для будинку з навантаженням 0,6 кВт·год/день три випадки чутливості показують три результати; випадок 1 для сонячного опромінення 4,14 кВт·год/м^2 /день, випадок 2 для сонячного опромінення 4,63 кВт·год/м^2 /день і випадок 3 для сонячного опромінення 5,00 кВт·год/м^2 /день. З цих трьох випадків можна помітити, що зі збільшенням сонячного опромінення кількість і вартість компонентів зменшується. Наприклад, для сонячного випромінювання 4,14 необхідними компонентами будуть 4 батареї, 0,469 кВт фотоелектричної потужності, а NPC (ЧВП) системи становитиме 2,512 доларів США. Тоді як для випадку сонячного випромінювання 5.00 необхідні компоненти включають 4 батареї і 0,385 кВт PV, що показує NPC(ЧВП) $2 343. Те саме стосується всіх інших випадків чутливості.

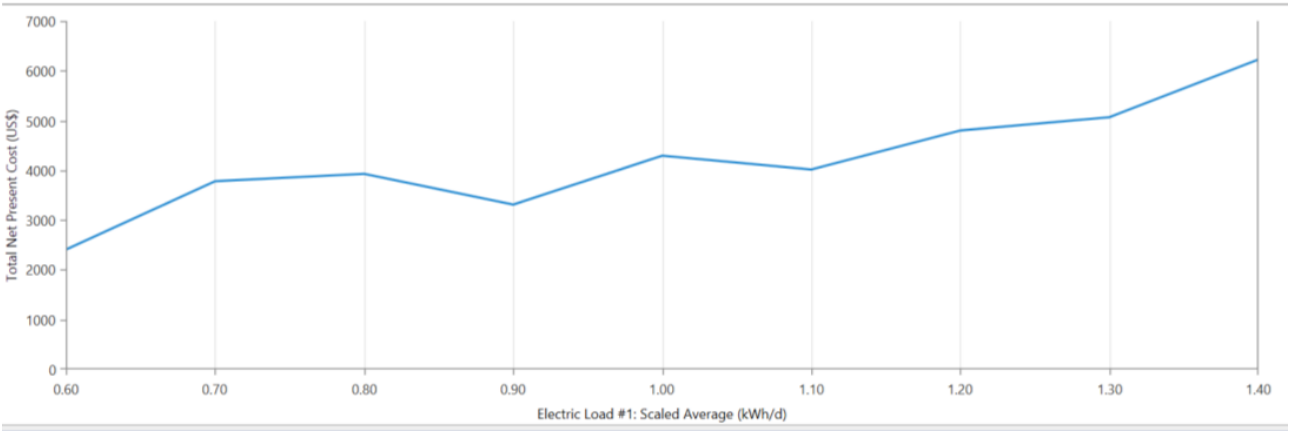
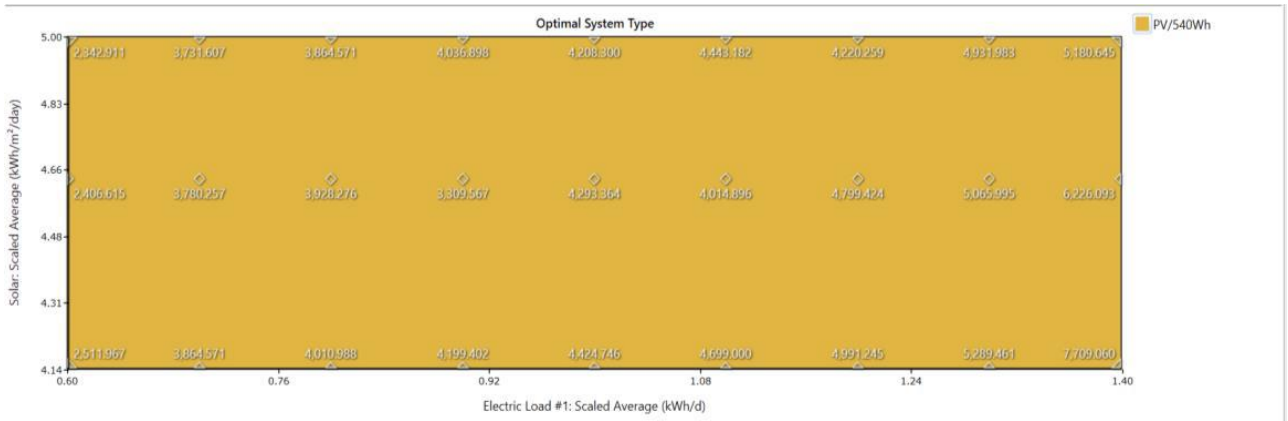


Рисунок 2.10 - Графік зміни NPC (ЧТВ) для випромінювання 4,145 кВт·год/м^2 /день при різному електричному добовому навантаженні

Рисунок 2.10 представляє графік залежності загальної чистої теперішньої вартості (ЧТВ) від електричного навантаження для середнього сонячного навантаження 4,63 кВт·год/м^2 /день. Результат показує, що зі збільшенням навантаження відбувається нелінійне збільшення вартості системи. Це пов'язано з тим, що зі збільшенням навантаження зростає кількість необхідних компонентів, необхідних для задоволення попиту системи. Результати для сонячних систем з середнім значенням 4,14 кВт·год/м^2/день та 5,00 кВт·год/м^2/день також показують подібні результати.



Рисугок 2.11 - Графік зміни NPC (ЧТВ) для випромінювання 5,00 кВт·год/м^2 /день при різному електричному добовому навантаженні

На рисунку 2.11 вище показано графік середнього значення сонячної енергії в порівнянні з середнім електричним навантаженням. Цей графік показує, що якщо сонячної енергії більше, то вартість системи буде низькою.

Наприклад, у випадку 0,6 кВт·год/добу, NPC (ЧТВ) системи при 4,14 кВт·год/м^2 /день становить $2,511, тоді як при середньому значенні сонячної енергії 5,00 кВт·год/м^2/день NPC становить $2,342, що свідчить про зниження вартості приблизно на $170. Для електричного навантаження 0,90, ЧТВ при 4,14 кВт·год/м^2 /день становить біля $4,199, тоді як при 5,00 ЧТВ зменшується до $4,036.

2.7 Електричне навантаження головного корпусу

При визначенні навантаження використовується таблиця щоденного споживання енергії для головного корпусу (таблиця 2.3), в якій наведено перелік електроприладів у будинку, номінальну потужність, енергоспоживання та тривалість використання за добу для кожного з приладів

.

Таблиця 2.3. Щоденне споживання енергії для будинку головного корпусу

Прилад	Кількість	Номінальна потужність (Вт)	Всього потужність (Вт)	Тривалість (години)	Загальна енергія (кВт·год)
Стельові вентилятори	2	60	120	7	0,84
Телебачення	1	50	50	5	0,25
Глибока морозильна камера	1	140	140	10	1,4
Водяний насос	1	750	750	0,2	0,15
Світлодіодна лампа	7	8	56	6	0,34
Розетки з зарядними пристроями	2	70	140	3	0,42
Повне навантаження:			1,26 кВт		3,4 кВт·год

2.8 Розрахунок та проектування характеристик компонентів системи електропостачання головного корпусу

Проведемо розрахунок характеристик основних компонентів системи.

Враховувмо, що коефіцієнт корисної дії фотоелектричних перетворювачів становить $\eta_{pv} = 17\%$.

Сонячне випромінювання у літні дні для даного регіону може досягати

$$E_{сон}=5,75\ кВт{\cdot}год/м^2\ /день.$$

Тоді доступна енергія за добу буде становити:

$$E_{доб} = E_{сон} \cdot \eta \cdot S,$$

де S – площа сонячних панелей

$$E_{доб} = 5,75 \cdot 0,17 \cdot 5 = 3,45 кВт \cdot год \,/\, день$$

Оскільки типове навантаження будинку становить *3,4 кВт·год / день*

Тоді для забезпечення живленням від акумуляторів впродовж 5 хмарних днів необхідно забезпечити ємність акумуляторних батарей на рівні:

$$5 \cdot 3,4 = 17\ кВт{\cdot}год$$

При використанні намруги в мікромережі постійного струму 48 В акумуляторна батарея повинна мати ємність (при 100% глибині розряду):

$$Q = \frac{17000}{48} = 354,1667 A \cdot год$$

Скажімо, кожна батарея 35 А·год, 12 В.

Для отримання необхідної ємності $354,2 A \cdot год$ потрібно паралельно підключити 10 таких акумуляторів. При ємності акумуляторної батареї 200 А·год достатньо двох.

Для отримання напруги на шині 48 В потрібно з’єднати послідовно чотири батареї 12 В будуть з'єднані послідовно, щоб отримати 48В, отже, загальна кількість батарей батареї 40 шт (100% глибина розряду). Оскільки 100% глибина розряду зменшить термін служби батареї, тому вона не допустима. Тому використовуємо 50 % глибину розряду, а це 80 акумуліторних батарей по 35 А·год, або 16 ємністю 200 А·год .

Якщо мережа і сонячні ресурси недоступні, частина навантаження буде покриватися за рахунок акумулятора, а частина - за рахунок генератора, тому до конфігурації додається невеликий генератор. Технічні характеристики генератора для даної будівлі наведені в таблиці 2.4 нижче, де показано специфікацію вартості, капітальні витрати, витрати на технічне обслуговування та експлуатаційні витрати.

Таблиця 2.4 - Характеристики генератора для будинку головного корпусу

Специфікація	Дені
Модель	Elemax SH2900DX(Gen50)
Максимальна потужність	5.5 к.с. (кінських сил)
Максимальна потужність (кВт)	4,8 кВт
Вихід постійного струму (В)	12В/8.3А
Паливний бак	15л
Вуличний ліхтар з подвійним кронштейном	2
Вартість генератора	$350
Вартість обслуговування/місяць	$20
Витрати на паливо/місяць	$102 - $117
Загальна середня вартість обслуговування/місяць	$130

Генератор заправляється 7-8 літрами пального щодня, що становить приблизно 210-240 літрів на місяць. Будинок повністю відключений від електромережі і працює на генераторі в основному з 8 вечора до 6 ранку наступного дня. 1 літр пального в Україні коштує близько $1,41.

Проектування здійснювалося за допомогою імітаційного програмного забезпечення Homer Pro. Компоненти системи, обрані для проектування, включають генератор, сонячну фотоелектричну установку та акумуляторну батарею. На рис. 2.12 нижче показано конфігурацію системи та її компоненти в програмному забезпеченні Homer Pro зображені на рис.2.13.

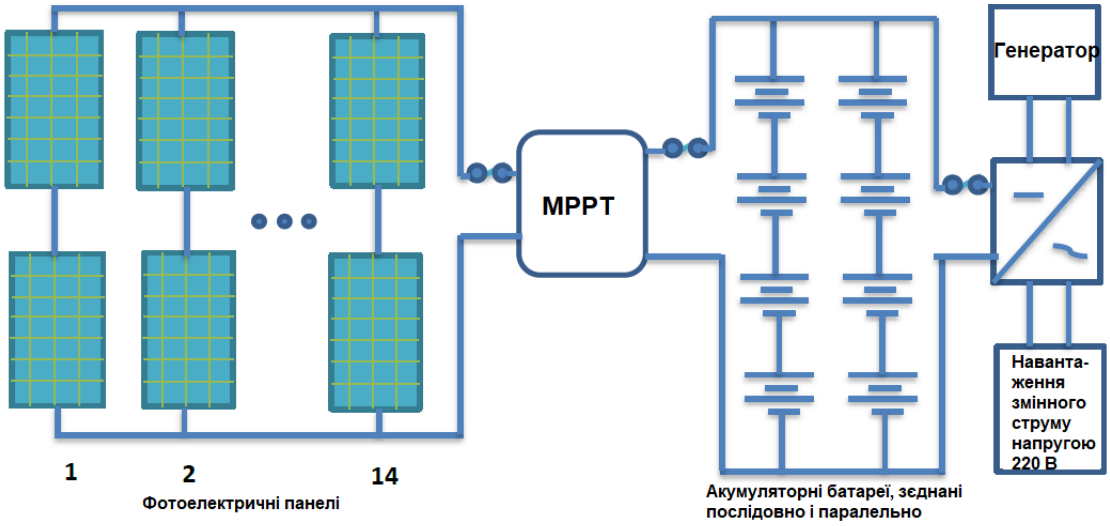


Рисунок 2.12 - Гібридна фотоелектрична система головного корпусу

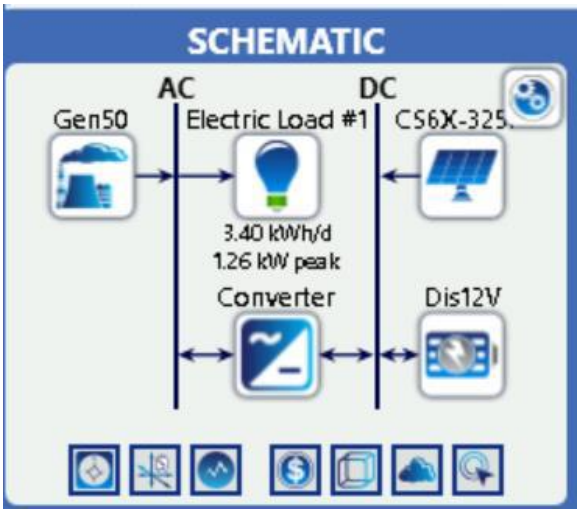


Рисунок 2.13 - Структурна схема системи живлення головного корпусу у Homer Pro

Для розрахунку розмірів характеристик омпонентів було використано програмне забезпечення Homer Pro. Система складається з шини постійного струму 48В з постійним навантаженням, сонячної фотоелектричної системи на основі фотоелектричних панелей Trina Solar PC14(II)-325W, акумулятора 12 В, генератора потужністю 5,5 к.с. і підключеного до нього перетворювача потужністю 1,6 кВт, як показано на рис. 2.12 вище. Після моделювання системи отриманий результат удосконалення показав чисту приведену вартість (NPC), експлуатаційні витрати, початковий капітал, номінальну потужність компонентів, частку відновлюваних джерел енергії та інші важливі параметри з можливими конфігураціями, які дозволять отримати економічно ефективну та продуктивну систему.

2.9 Аналіз економічних показників для головного корпусу

На рис. 2.14 нижче показано економічне порівняння між двома системами. NPC з генератором як єдиним джерелом живлення становить $78076, в той час як для гібридної енергосистеми NPC становить $12084, що значно нижче.

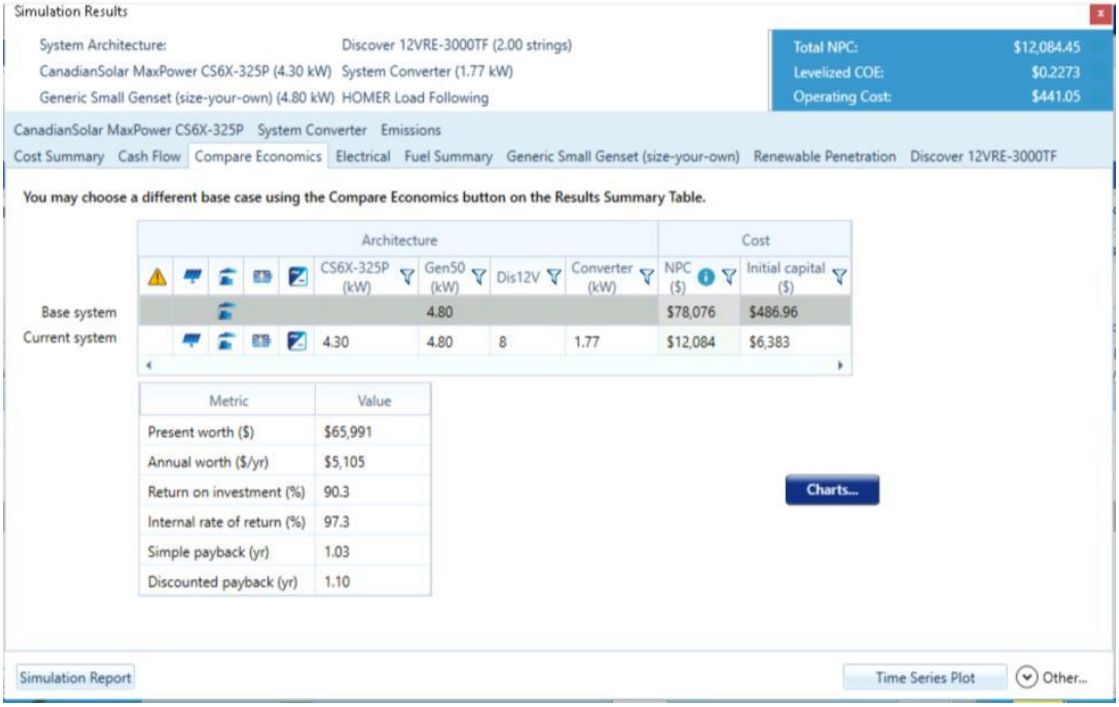


Рисунок 2.14 - Порівняння базової та поточної системи у Homer Pro

Homer Pro є чудовим інструментом не тільки для пошуку недорогих систем,

але й для проведення інвестиційного аналізу. Ґрунтуючись на глибокому розумінні чистої приведеної вартості, її значення і того, як вона враховує термін служби проекту і компонентів, Homer може визначити термін окупності та внутрішню норму прибутку, порівнюючи конкретну симуляцію з іншою базовою симуляцією. У цьому проекті базовим сценарієм/звичайним сценарієм (система, яку ви могли б спроектувати, якби не робили додаткових інвестицій у відновлювані джерела енергії або накопичувачі) будуть лише генератори. Вибравши базовий випадок, Homer Pro розрахує окупність усіх систем для кожного результату удосконалення. В архітектурі системи-переможця Homer розрахував просту окупність в один рік і показав внутрішню норму рентабельності 97 %. Ви можете побачити значення, розраховане для інших систем, як показано на рис. 2.15. При частці відновлюваної енергії 92,6% система обійдеться в $6 383 на встановлення, $441,05 на річні експлуатаційні витрати і чисту приведену вартість (NPC) в $12 084, що є більш економічним порівняно з дизельним варіантом, який має NPC в $78 076. Детальна інформація про те, як було розраховано внутрішню норму прибутковості (IRR) та простий термін окупності, також наведена на рисунку 2.15 вище.

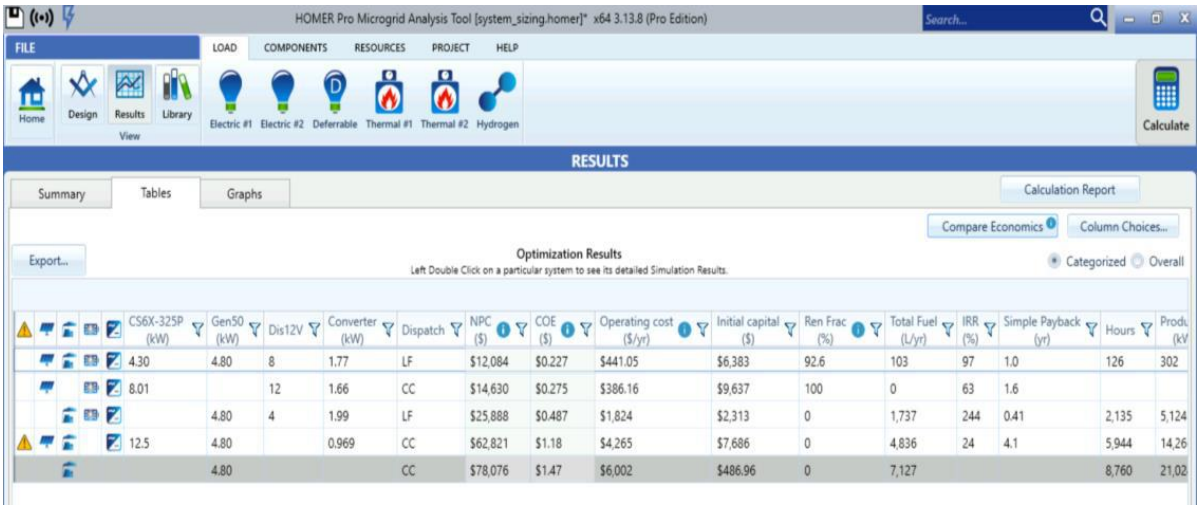


Рисунок 2.15 - Термін окупності та внутрішня норма рентабельності (IRR) у Homer Pro

На рисунку 2.16 вище показані додаткові розрахунки, такі як теперішня

вартість інвестицій $65 991, річна вартість інвестицій відносно дизельного варіанту $5 105, а також рентабельність інвестицій 90,3%, а також різні способи розрахунку простої окупності та внутрішньої норми рентабельності.

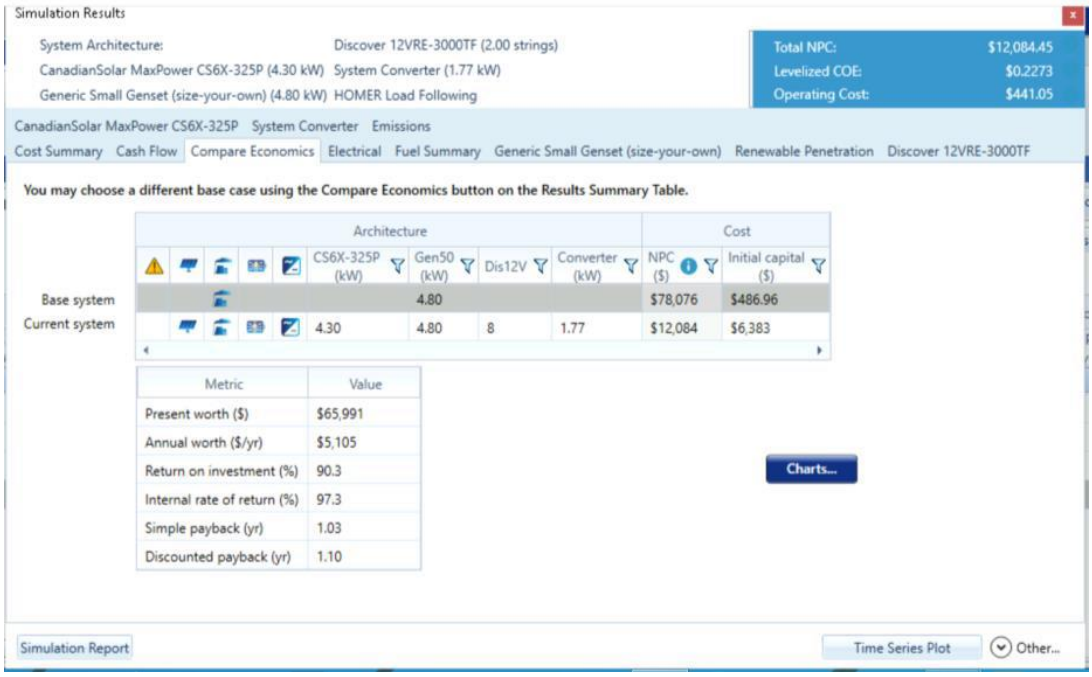


Рисунок 2.16 - Детальний аналіз порівняльного економічного аналізу у Homer Pro

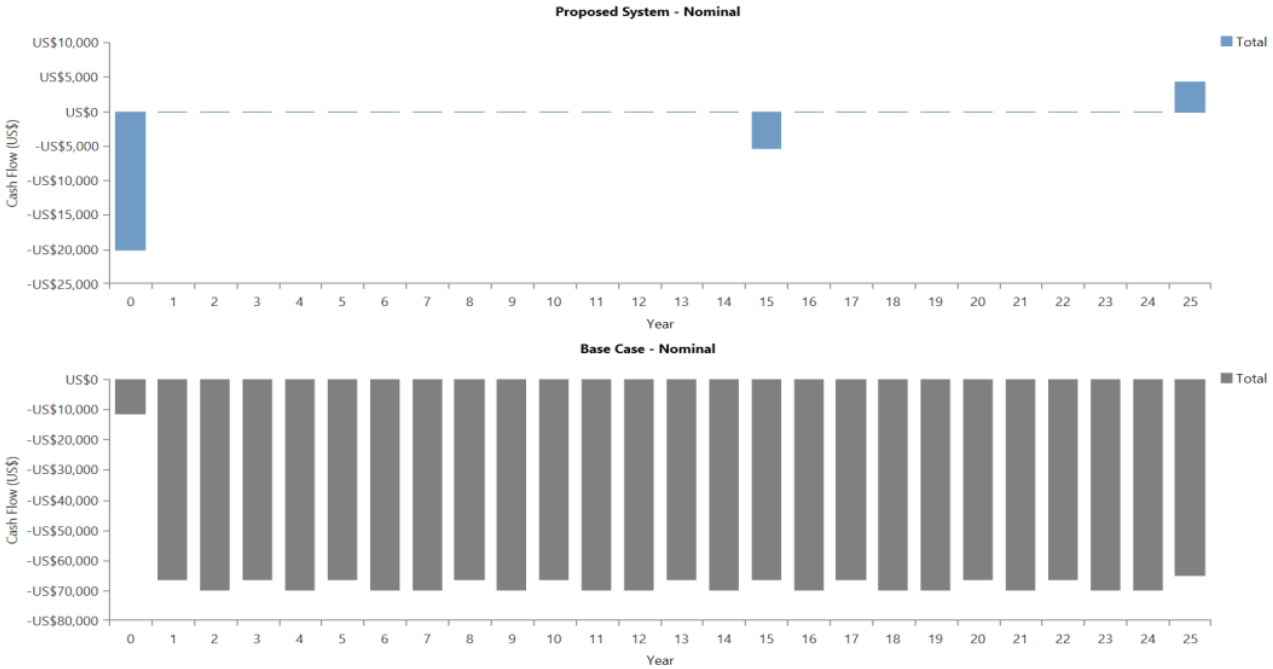


Рисунок 2.17 - Представлення діаграми для поточної та базової системи у Homer Pro

На діаграмі для поточної та базової систем, як показано на рис. 2.17 вище, обрана гібридна конструкція демонструє великі капітальні витрати та відносно помірні експлуатаційні витрати порівняно з дизельною системою, де отримуємо відносно менші капітальні витрати, але значно вищі експлуатаційні витрати.

2.10 Аналіз стійкості системи електропостачання головного корпусу до змінних факторів

Система імітаційного моделювання Homer показує, скільки коштуватиме експлуатація системи, яке паливо вона використовуватиме, яка енергія циркулюватиме через батареї, що визначають, як довго вона пропрацює до того, як її потрібно буде замінити. Справжнім центром Homer є алгоритм удосконалення, який підказує, яка система є найкращою. Якщо ви робите лише одну оптимізацію, ви знаєте, яка система найкраща для одного сценарію. Отже, аналіз чутливості показує нам, що станеться, якщо, наприклад, зміняться ціни, зросте навантаження або покращиться технологія, як можна адаптувати дизайн системи для різних ринків.

У цій моделі проводимо аналіз чутливості до навантаження та сонячних фотоелектричних модулів. Ми маємо діапазон зміни навантаження від 11,3 кВт до 13,5 кВт (20 %) і діапазон зміни вхідної потужності сонячних фотоелектричних модулів від 77 % до 99 % (10 %). (Вказує на те, що іноді фотомодулі бувають чистими, запиленими чи частково затіненими).

В результаті моделювання отримані результати, показані на рис. 2.18, містить два набори таблиць: таблицю випадків чутливості та результати удосконалення. У таблиці випадків чутливості є кілька записів. Для кожного випадку чутливості в цій таблиці Homer відображає проект з найнижчою вартістю, що означає, що кожна з систем має найнижчу чисту приведену вартість після порівняння всіх різних варіантів проектування. Наприклад, для випадку 77% сонячних фотоелектричних модулів Trina Solar PC14(II)-325W і середнього електричного навантаження 13,5 кВт на день, найдешевший варіант

має 5,50 кВт фотоелектричних модулів, 8 гелевих акумуляторів на 12 В, перетворювач потужністю 1,79 кВт і генератор потужністю 4,80 кВт.

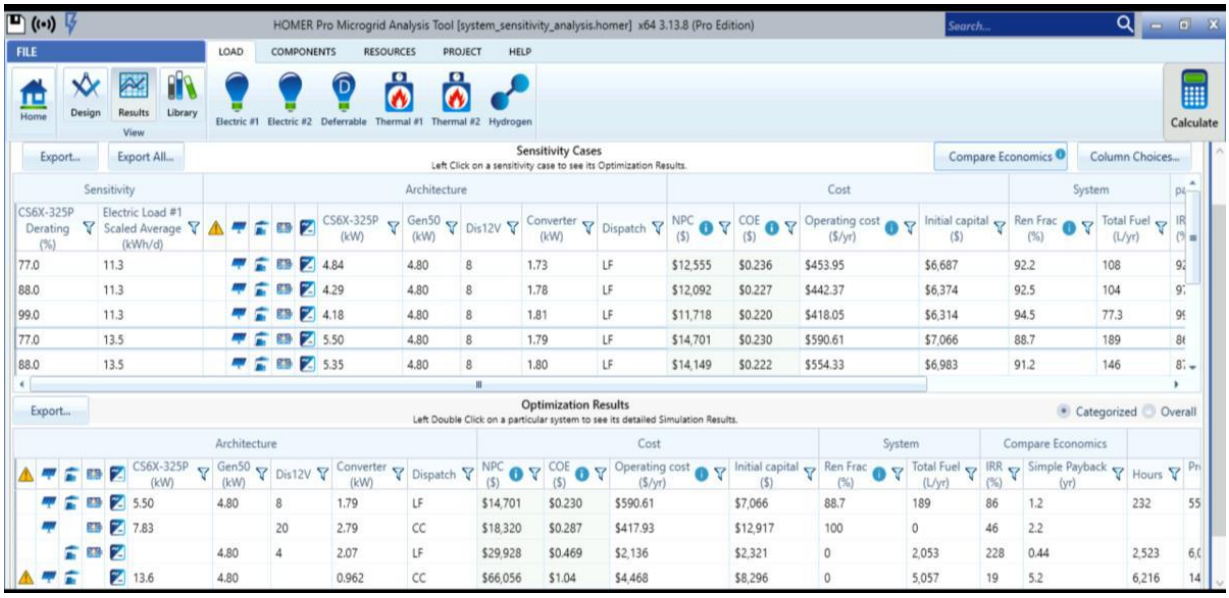


Рисунок 2.18 - Імітаційний результат аналізу чутливості то зміни факторів

Вибір цієї системи змінює таблицю результатів удосконалення. Результати удосконалення оновлюються, щоб показати, як моделюються всі різні системи, всі різні варіанти проектування, виконані для обраного випадку чутливості (тобто, коефіцієнт деградації сонячних фотоелектричних модулів Trina Solar PC14(II)-325W 77% і середнє електричне навантаження 13,5 кВт на день). У таблиці удосконалення помітно, що найнижча чиста поточна вартість/найнижча вартість системи завжди знаходиться у верхній частині таблиці. Всі системи ранжуються за чистою теперішньою вартістю. Найкраща система в таблиці чутливості - це та сама система, яка була обрана в таблиці з прикладами чутливості, що знаходиться над нею. Також видно, що система-переможець у цьому випадку чутливості коштує $7,066 для встановлення, і в середньому вона коштує близько $590,61 для експлуатації щороку. Операційні витрати можуть змінюватися з року в рік, але $590,61 - це середні операційні витрати. А разом початкові капітальні витрати і річні операційні витрати можуть бути використані для розрахунку чистої теперішньої вартості (NPC), яка використовується для порівняння систем.

2.11 Висновки

1. Результати проектування показали, що фотоелектрична мікромережа постійного струму в житлових будинках дитячого табору є найкращим рішенням з точки зору безпеки для дітей, надійності електропостачання і вартості.
2. Встановлено, що такі фактори, як коливання сонячного випромінювання, нерівномірне використання енергії в таборі можуть бути збалансовані шляхом розподілу надлишкової енергії між мікроенергетичними системами кожного будинку в таборі.
3. При збільшенні або зменшенні сонячного випромінювання з 4,14 кВт·год/м^2/день до 5 кВт·год/м^2/день через кліматичні фактори, вартість системи майже не зміниться, оскільки будинки з меншим споживанням енергії будуть ділитися надлишком енергії з будинками з більшою потребою в енергії.
4. Модернізована система електропостачання є набагато кращою, ніж окрема фотоелектрична система для кожного будинку, оскільки вона потребуватиме набагато більше фотоелектричних компонентів, що призведе до більших витрат на встановлення, експлуатацію та обслуговування.
5. Проведено розрахунок системи електропостачання на основі фотоелектричних панелей головного корпусу табору із середнім навантаженням 1,26 кВт та споживанням енергії 3,4 кВт·год. В цьому випадку також використано шину постійного струму 48 В і шину змінного струму 220 В. Програмне забезпечення Homer Pro використано для визначення найбільш оптимальної системи для автономної роботи як з точки зору компонування системи, так і з точки зору економічної доцільності встановлення сонячних фотоелектричних панелей. За результатами удосконалення, дивлячись на чисту приведену вартість (NPC) всіх можливих варіантів

проектування системи, конфігурація з фотоелектричними панелями, перетворювачем та акумулятором є кращим варіантом у порівнянні з системою, що працює лише на дизельному паливі.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Динамічне моделювання мікромережевої фотоелектричної системи постійного струму для житлових будинків дитячого табору

3.1.1 Підключення до мікромережі

Технологія мікромереж - це система виробництва, розподілу та використання малої електроенергетики, що складається з розподіленої генерації, системи зберігання енергії, пристроїв перетворення, захисту та моніторингу. Ця технологія може бути класифікована на мікромережі постійного струму, мікромережі змінного струму та гібридні мікромережі змінного/постійного струму. Багато дослідників проводили дослідження в галузі управління та експлуатації мікромереж постійного струму. Відсутність реактивної потужності в мікромережі постійного струму робить шину постійного струму єдиним індикатором для моніторингу стабільної роботи системи мікромережі постійного струму. Стійкість системи мікромереж постійного струму включає в себе як статичну, так і перехідну стійкість [5].

Проектування мікромережі складається з різних компонентів, які включають підключення мікромережі (це враховує втрати в лініях між будинками і від будинків до шини), розрахунок навантаження постійного струму, розрахунок і конфігурацію сонячних фотоелектричних модулів, конфігурацію проектування акумуляторів.

Пропоноване підключення до мікромережі показано на рис. 3.1. Табір складається з дев'яти (9) будинків. Починаючи з будинку 1, інші будинки мають навантаження від ±10% до ±40%. Кожен будинок з'єднаний з іншим через загальну шину 48В постійного струму січенням 6 мм^2. Відстань від будинків до шини та від одного будинку до іншого було наведено в таблицях 3.1 та 3.2. Питомий опір мідної шини становить 3,276392 Ом/км. Використовуючи це значення, за формулою (3.1) розраховується опір для кожної ділянки шини між будинками відповідно до рис. 3.1.

$$R = R_0 \cdot L = 3,276392 \cdot 10^{-3} \cdot L \qquad (3.1)$$

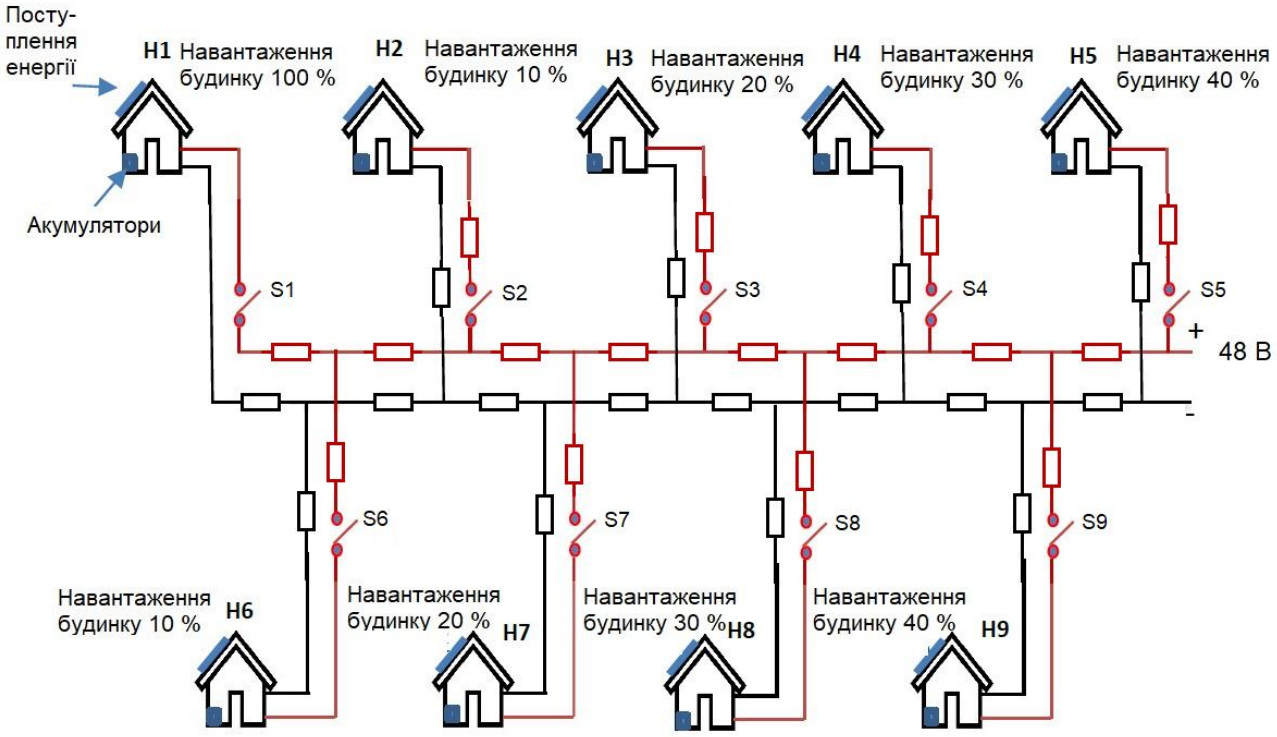


Рисунок 3.1 – Мікромережа постійного струму 48 В та опір кабелів для житлових будинків у таборі

Таблиця 3.1 - Відстань та опір від будинків до шини

Будинки	Відстань	Опір лінії
Будинок 1	18,7м	0,0613 Ом
Будинок 2	21,2м	0,0695 Ом
Будинок 3	22м	0,072 Ом
Будинок 4	11,2м	0,0367 Ом
Будинок 5	12,8м	0,0419 Ом
Будинок 6	12м	0,0393 Ом
Будинок 7	15,5м	0,0508 Ом
Будинок 8	14,1м	0,0462 Ом
Будинок 9	13м	0,0426 Ом

На рисунку 3.1 вище показано з'єднання мікромережі з усіма опорами проводів. Ці опори дають можливість розрахувати втрати в лінії від одного

будинку до іншого і від кожного будинку до шини 48 В. На схемі також показано, що кожен будинок має вимикачі S1-S9. Ці перемикачі використовуються для підключення/відключення від мікромережі.

Таблиця 3.2 - Відстань та опір між будинками

Будинки	Відстань між будинками	Опір лінії
Будинок 1 - Будинок 2	12,7м	0,0416 Ом
Будинок 2 - Будинок 3	25,7м	0,0842 Ом
Будинок 1 - Будинок 4	17,7м	0,0579 Ом
Будинок 4 - Будинок 5	15м	0,0491 Ом
Будинок 5 - Будинок 6	13,7м	0,0449 Ом
Будинок 6 - Будинок 7	18,5м	0,0606 Ом
Будинок 7 - Будинок 8	14,9м	0,0488 Ом
Будинок 8 - Будинок 9	19,7м	0,0645 Ом

3.1.2 Розрахунок номінального струму сонячних фотоелектричних модулів

Як зазначалося раніше, для цього проекту була використана монокристалічна сонячна панель Jarret Solar 100 Вт на 12 В, яка забезпечує високу ефективність на одиницю площі і ідеально підходить для автономних проектів. Щоб досягти необхідної номінальної напруги 48 В постійного струму необхідно з’єднати 4 таких панелі послідовно. Використовувати одну панель потужністю 400 Вт не можна, оскільки її напруга менша 48 В. У таблиці нижче показані властивості фотоелектричних модулів Jarret Solar 100 Вт.

Навантаження між будинками відрізняється, тому нижче наведено різні конфігурації фотоелектричних модулів та розрахунки.

Враховуючи це проведемо розрахунок номінального струму сонячних фотоелектричних модулів.

Таблиця 3.3 - Технічний паспорт фотоелектричної панелі Jarret Solar 100 Вт

Властивості	Значення
Максимальна потужність при STC	100 Вт
Напруга холостого ходу (V_{oc})	22,3 В
Струм короткого замикання (I_{sc})	7 А
Оптимальна робоча напруга (V_{mp})	18,6 В
Оптимальний робочий струм (I_{mp})	5,38 А
Температурний коефіцієнт V_{oc}	-0.28%/°C
Температурний коефіцієнт I_{sc}	0.048%/°C
Ефективність модуля	18.3%
Кількість елементів	33 (3·11)

Отже номінальна потужність фотоелектричних модулів = 100 Вт. Напруга в точці максимальної потужності (V_{mp}) = 18,6 В, тоді для 4 фотоелектричних модулів з'єднаних послідовно отримаємо:

при 1000 Вт/м^2 , 25^{oc},

$$P = VI$$

$$I = P/V = 400/74,4 = 5,376A$$

для 8 PV (4 послідовно, 2 паралельно)

$$I = P/V = 800/74,4 = 10,75A$$

для 12 PV (4 послідовно, 3 паралельно)

$$I = P/V = 1200/74,4 = 16,13A$$

3.1.3 Розрахунок еквівалентного опору навантаження для імітаційного моделювання

Для проектування мікромережі в Matlab Simulink, навантаження для будинків, яке варіювалося від 1 кВт до 600 Вт, було перетворено в їх еквівалентний опір, як показано в розрахунку нижче, за допомогою формули (3.3).

$$P = \frac{V^2}{R} \tag{3.2}$$

$$R = \frac{V^2}{P} \tag{3.3}$$

де P – потужність, Вт;

V – напруга, В;

R – опір, Ом.

Отже, використовуючи рівняння (3.3), визначимо еквівалентний опір для кожного будинку.

Будинок 1: P = 1кВт, V = 48 В $P = V^2/R$

$$R = V^2/P = 48^2/1000 = 2{,}304 \text{ Ом.}$$

Будинок 2: P = 1,1 кВт, V = 48 В

$$R = V^2/P = 48^2/1100 = 2{,}095 \text{ Ом.}$$

Будинок 3: P = 1,2 кВт, V = 48 В

$$R = V^2/P = 48^2/1200 = 1{,}92 \text{ Ом.}$$

Будинок 4: P = 1,3 кВт, V = 48 В

$$R = V^2/P = 48^2/13\ 00 = 1{,}772 \text{ Ом.}$$

Будинок 5: P = 1,4 кВт, V = 48 В

$$R = V^2/P = 48^2/1400 = 1,645 \text{ Ом.}$$

Будинок 6: P = 0,9 кВт, U = 48 В

$$R = V^2/P = 48^2/900 = 2,56 \text{ Ом.}$$

Будинок 7: P = 0,8 кВт, U = 48 В

$$R = V^2/P = 48^2/800 = 2,88 \text{ Ом.}$$

Будинок 8: P = 0,7 кВт, U = 48 В

$$R = V^2/P = 48^2/700 = 3,29 \text{ Ом.}$$

Будинок 9: P = 0,6 кВт, V = 48 В

$$R = V^2/P = 48^2/600 = 3,84 \text{ Ом.}$$

3.1.4 Характеристики акумуляторної батареї

Батарея, що використовується для проектування – 12 В, 45 А·год. Використовуючи шину 48 В, в таблиці нижче показано необхідну кількість даних акумуляторів для кожного будинку.

Таблиця 3.4 – Дані акумуляторних батарей для кожного будинку

Будинки	Електричне навантаження (кВт·год/добу)	Кількість батарей	Проектна характеристика
Будинок 1	1,0	8	48 В, 90 А·год
Будинок 2	1,1	4	48 В, 45 А·год
Будинок 3	1,2	8	48 В, 90 А·год
Будинок 4	1,3	8	48 В, 90 А·год
Будинок 5	1,4	12	48 В, 135 А·год
Будинок 6	0,9	4	48 В, 45 А·год
Будинок 7	0,8	8	48 В, 90 А·год
Будинок 8	0,7	8	48 В, 90 А·год
Будинок 9	0,6	4	48 В, 45 А·год

3.1.5 Динамічне моделювання та результати

Matlab Simulink - це інструмент, який використовується для моделювання та динамічної симуляції системи. Мікромережа була змодельована в середовищі Matlab Simulink, щоб показати динамічну поведінку системи, щоб зобразити, як система буде реагувати в реальному часі на змінні фактори. На рисунку нижче показано вигляд системи в середовищі Matlab Simulink.

На рисунку 3.2 показано розподільчу систему мікромережі постійного струму, що складається з фотоелектричних модулів та акумулятора.

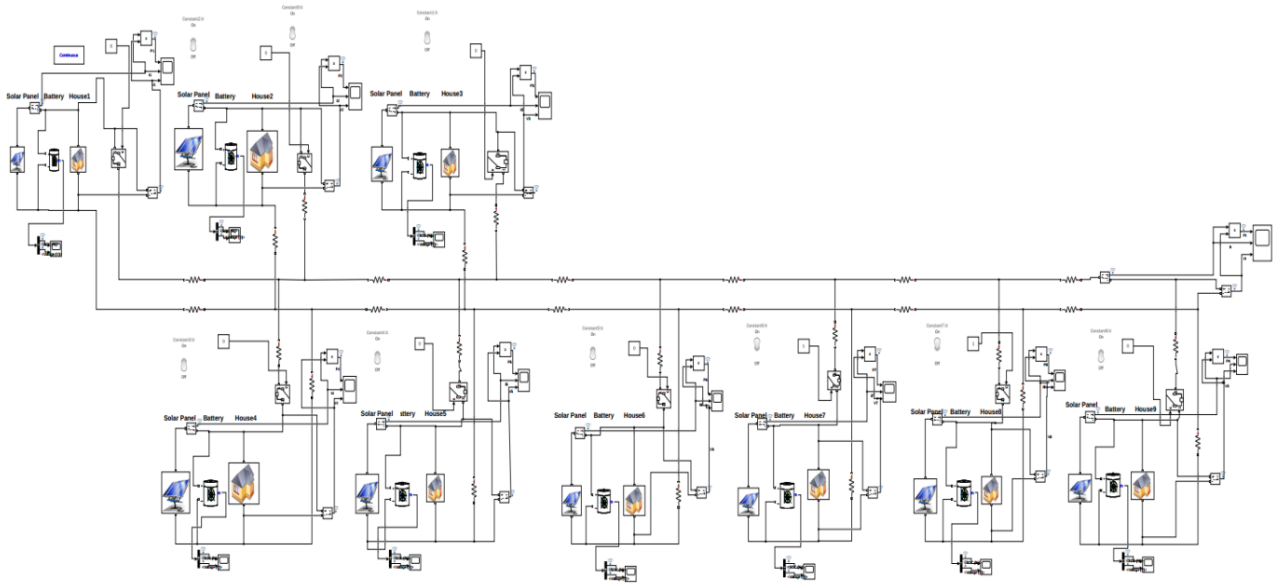


Рисунок 3.2 - Вигляд системи усієї мікромережі постійного струму напругою 48 В в Simulink.

На рисунку 3.3 показано блок-схему будинку 2 в середовищі Simulink та його підключення до мікромережі. Як і будь-який інший будинок у таборі, будинок 2 складається з фотоелектричних модулів, акумулятора та вимикача, який підключається/відключається до загальної електромережі, також показано опір лінії між будинком та шиною, а також між кожним будинком.

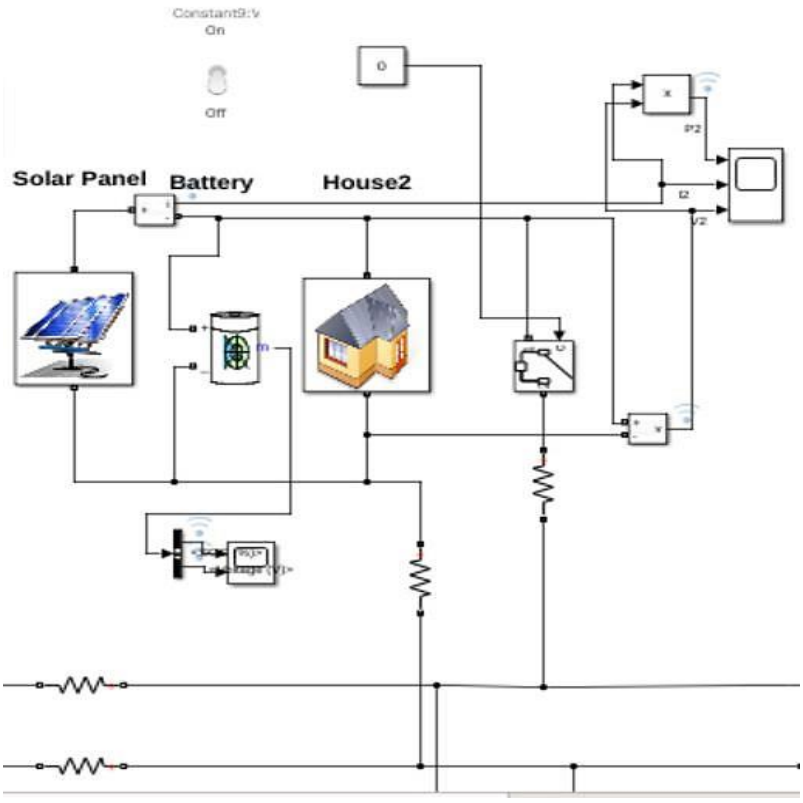


Рисунок 3.3 - Підключення будинку 2 до мікромережі

Напруга постійного струму, що генерується фотоелектричними модулями кожного будинку, розподіляється по всій електромережі табору. З цієї причини немає необхідності в інверторі для підключення до загальної шини. Будинки віддалені один від одного на різну відстань. Виходячи з відстані, розраховується опір лінії між будинками. Батареї, підключені до різних будинків, також мають номінальну напругу шини 48 В. Якщо напруга на шині постійного струму 48 В підтримується стабільною, подальше підключення до загальної мікромережі є простим, оскільки не потрібен інвертор, а отже, не потрібно ніяких модифікацій. Робота загальної мікромережі працює таким чином, що надлишок енергії від одного будинку може бути відданий в мережу і використаний іншим будинком з більшим споживанням енергії. Така форма спільного використання енергії забезпечує її ефективне використання. Кожен будинок також має вимикач для відключення від загальної напруги 48В, який, від'єднуючись від мережі, впливає на потужність, напругу та вихідний струм мережі, як видно з результатів моделювання, наведених нижче.

Наведені нижче результати показують потужність, струм і напругу кожного будинку, напругу акумулятора, стан заряду акумулятора і вплив на напругу шини, коли всі будинки були відключені, підключені, а також коли деякі будинки відключалися і підключалися в різний час за допомогою тумблера.

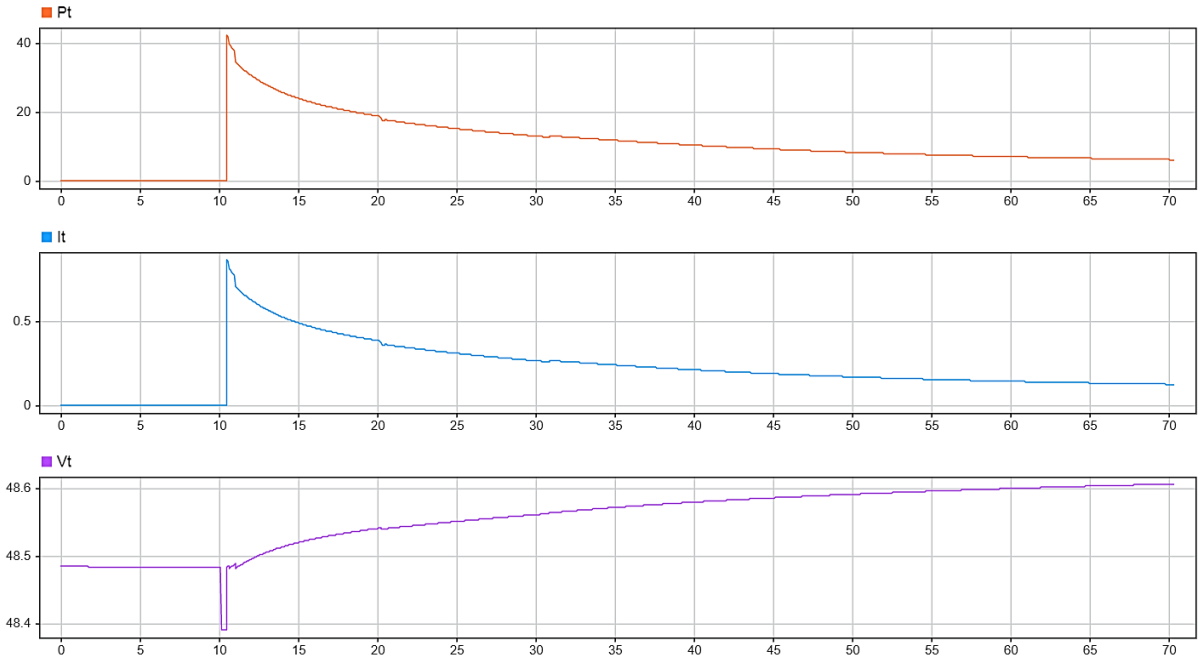


Рисунок 3.4 - Напруга, струм та потужність спільної шини в моменти підкючення (10 с і 20 с) та відключення (20 с) будинків до загальної шини

На рис. 3.4 вище показано напругу, струм та потужність спільної шини всіх будинків (будинок 1 - будинок 9) мікромережі. При t = 10 відбулося різке падіння напруги, оскільки це означає відключення всіх будинків через планове технічне обслуговування, після чого 5 будинків (будинок 5 - будинок 9) були знову підключені, що свідчить про різке зростання напруги, струму та потужності в загальній шині мікромережі. При t = 20 ще 3 будинки були підключені до мережі, і в той же час два інших будинки були відключені (будинок 1 і будинок 2), про що свідчить постійне зростання напруги, при t = 30 два будинки, що залишилися, були підключені до мережі, що сприяє постійному зростанню напруги. При t = 50 два будинки були відключені і знову

підключені при t = 60, але різниці в падінні напруги не було, оскільки всі інші будинки все ще були підключені до мережі.

На рис. 3.5 вище показано зміну напруги, струму і потужності при зміні навантаження у будинку 1 для різних часів перемикання під час моделювання. Графік показує значне падіння напруги та потужності при t = 20, а при t = 30 спостерігається поступове зростання, що означає, що будинок 1 був відключений від мережі та знову підключений до неї відповідно. На рисунку 3.6 показано напругу та ступінь заряду (СЗ) батареї для будинку 1. Початковий СЗ батареї починається з 75 %, а потім відбувається поступове зменшення СЗ від t = 0 до t = 20, а також подальше зменшення, поки не досягне t = 70. Це зменшення відбувається через підключення інших будинків до мікромережі. Чим більше будинків підключається, тим більше енергії розподіляється між ними, що призводить до більшого використання енергії від акумулятора.

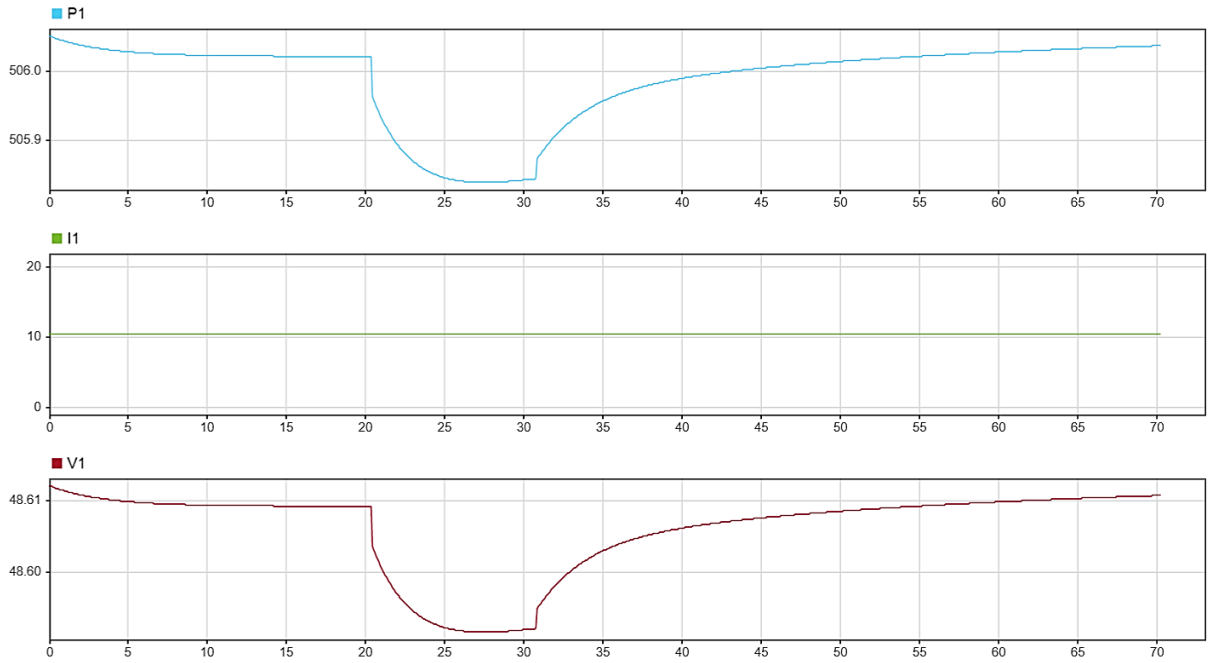


Рисунок 3.5 - Потужність, струм і напруга будинку 1

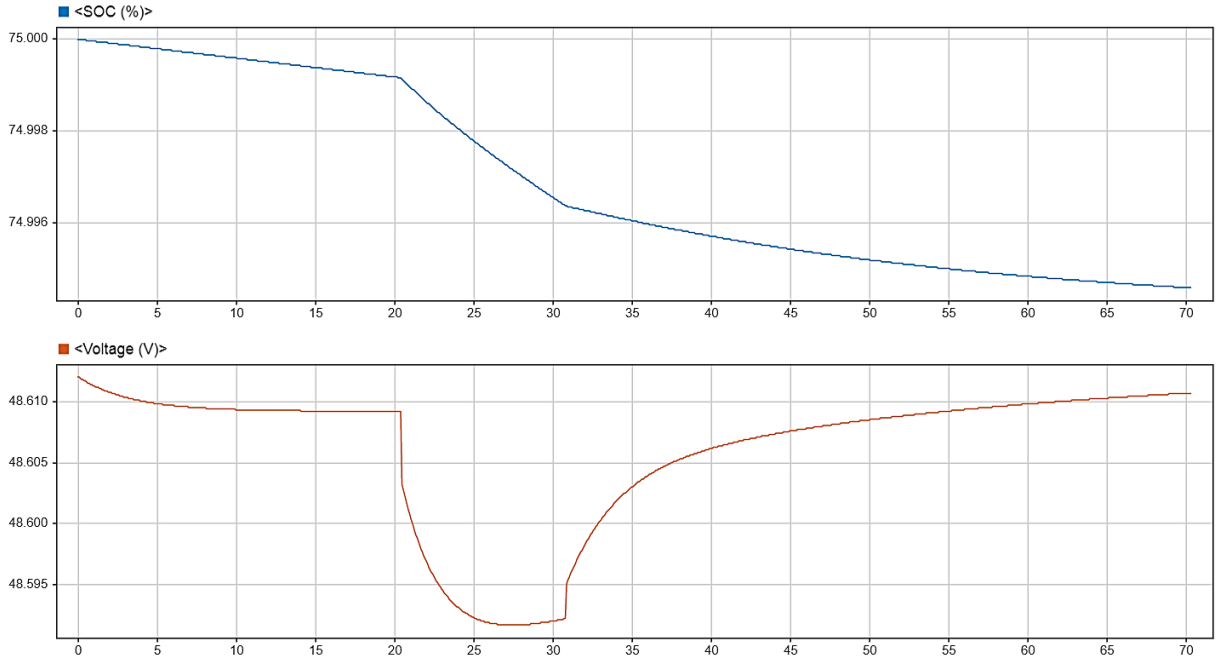


Рисунок 3.6 - Стан заряду (SOC) батареї та напруга

На рис. 3.7 показано зміну напруги, струму та потужності навантаження будинку 2 для різних часів перемикання під час моделювання. На графіку показано значне зростання напруги та потужності при t = 20, а при t = 30 спостерігається поступове зростання, що означає, що будинок отримує надлишкову потужність від мікромережі.

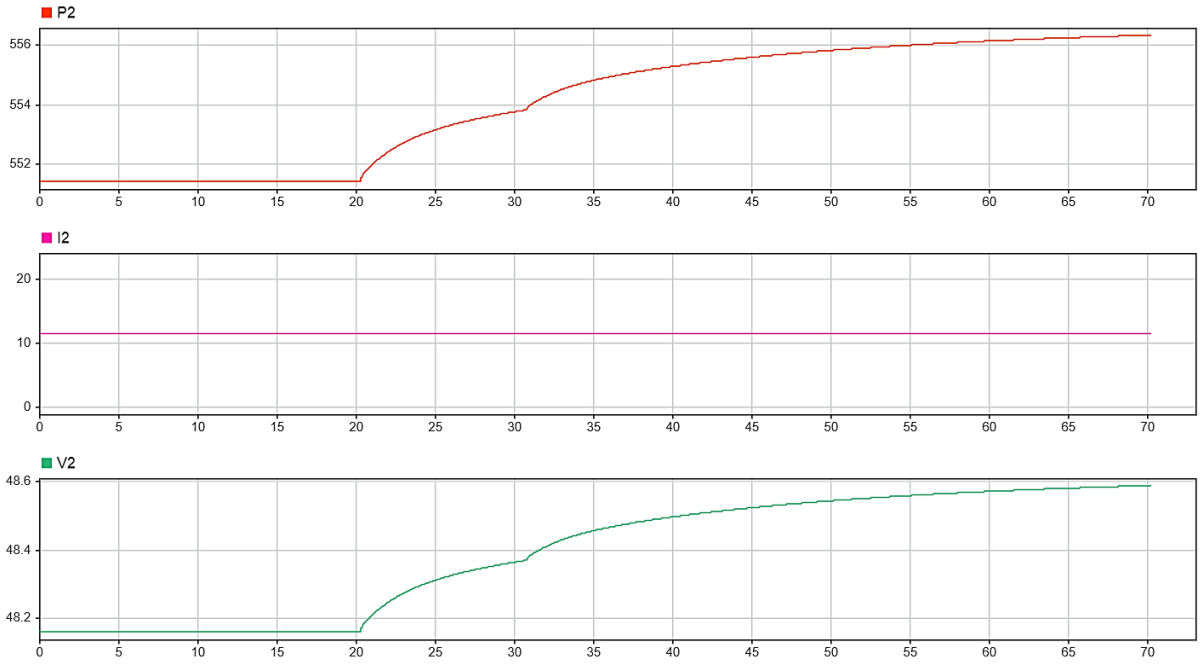


Рисунок 3.7 - Потужність, струм та напруга навантаження будинку 2

На рис. 3.8 показано напругу та стан заряду (СЗ) батареї для будинку 2. Початковий СЗ батареї починається на рівні 60 %, а потім спостерігається значне збільшення SOC від t = 20 до t = 30, а також подальше збільшення, поки не досягне t = 70. Це зменшення пов'язане з підключенням інших будинків до мікромережі. Чим більше будинків підключаються, тим більше енергії розподіляється між ними, і тому надлишок енергії з мережі збільшує заряджання акумулятора.

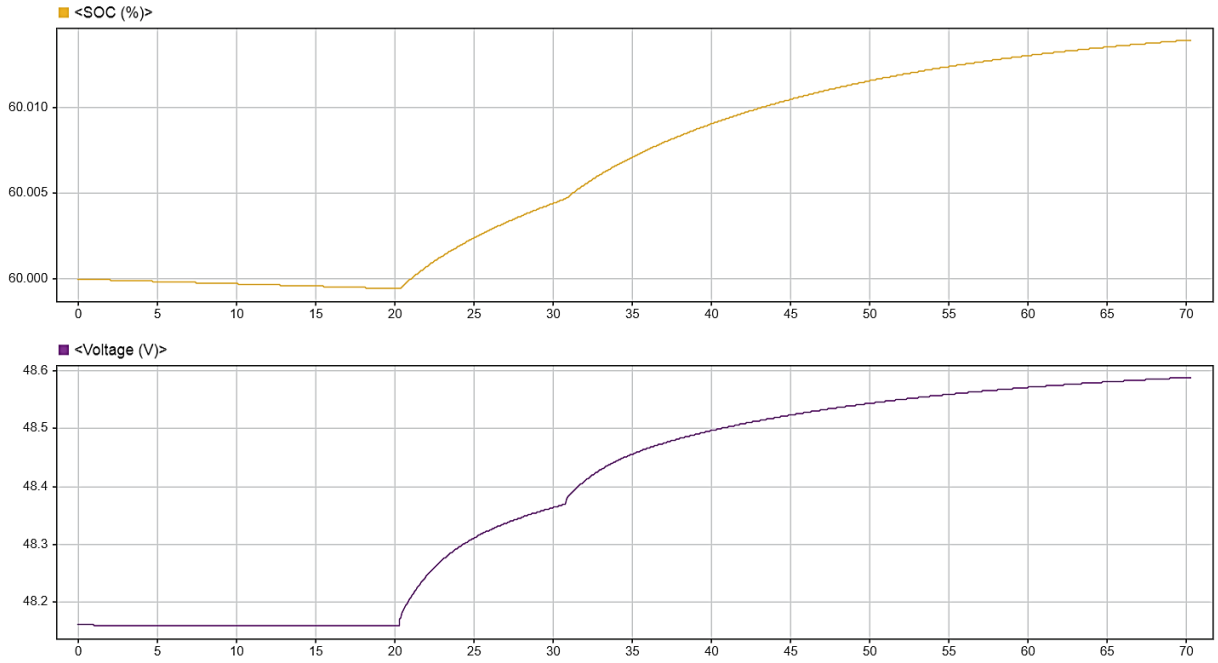


Рисунок 3.8 - - Стан заряду (SOC) батареї та напруга будинку 2

На рис. 3.9 показано зміну напруги, струму та потужності навантаження будинку 3 для різних моментів перемикання будинків під час моделювання. Графік показує значне зростання напруги та потужності при t = 20, а при t = 30 спостерігається поступове зростання, що означає, що будинок отримував надлишкову потужність та напругу від мікромережі. На рис. 3.10 показано напругу та стан заряду (СЗ) батареї для будинку. Початковий СЗ батареї починається з 65%, а потім спостерігається значне збільшення СЗ від t = 20 до t = 30, а також подальше збільшення, поки не досягне t = 70. Це зменшення пов'язане з підключенням інших навантажень будинків до мікромережі. Чим

більше будинків підключається, тим більше енергії розподіляється між ними, а отже, надлишок енергії з мережі збільшує заряджання акумулятора.

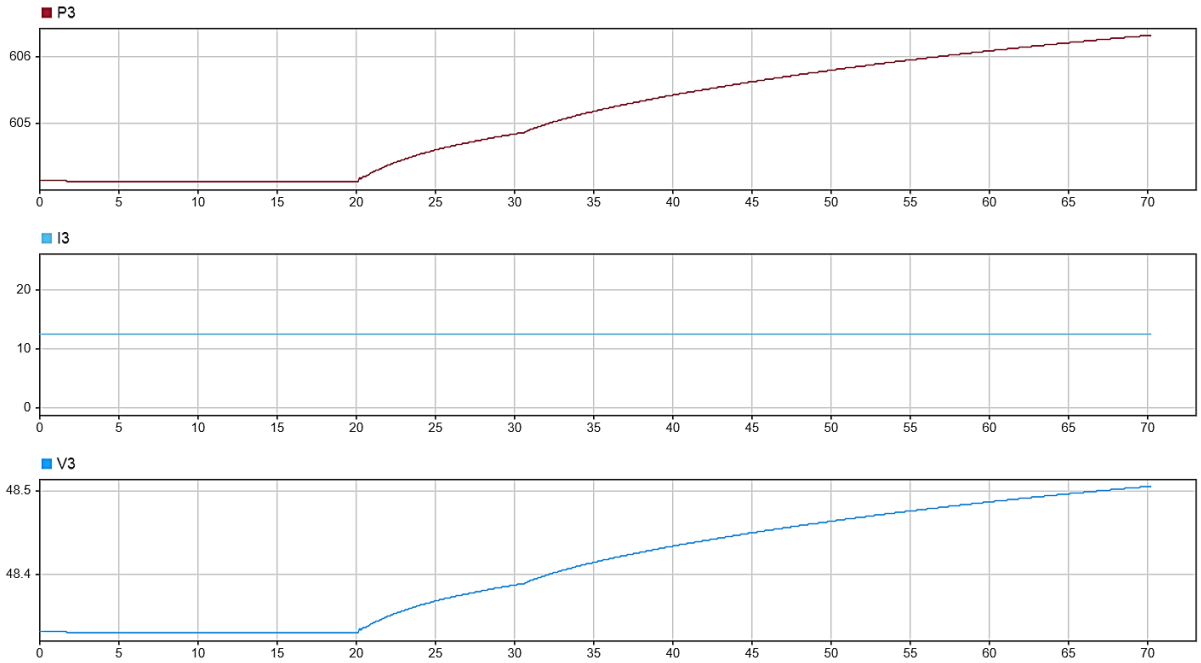


Рисунок 3.9 - Потужність, струм та напруга навантаження будинку 3

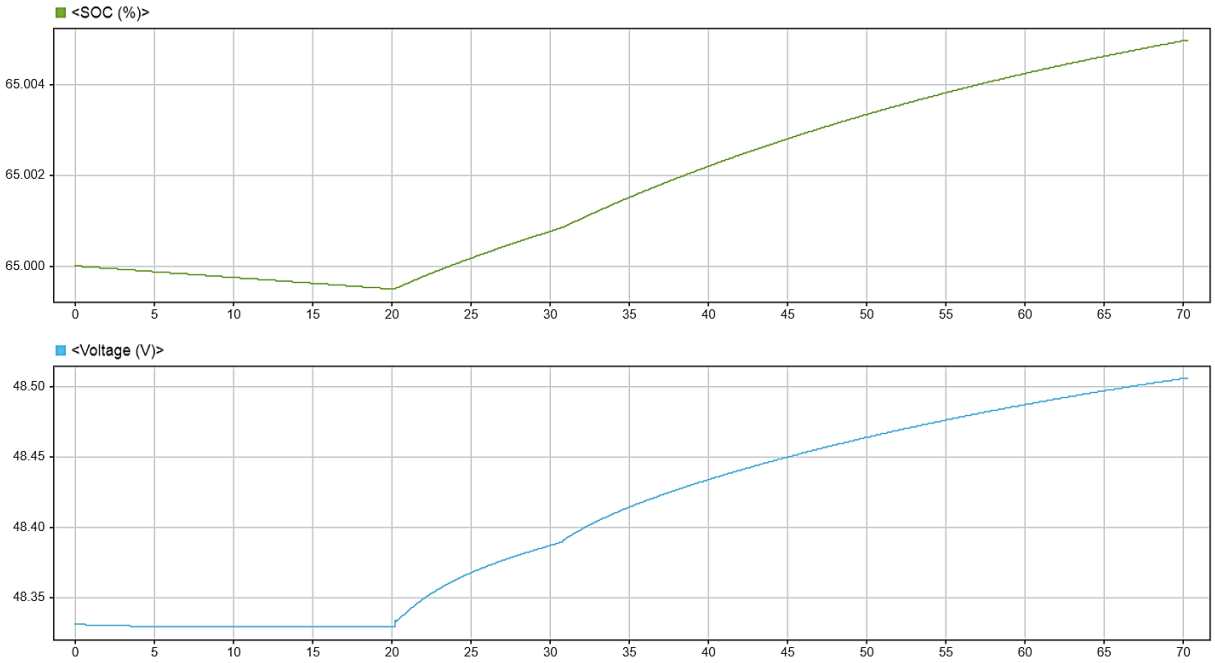


Рисунок 3.10 - Стан заряду (SOC) батареї та напруга у будинку 3

На рис. 3.11 показано характеристики напруги, струму та потужності навантаження будинку 4 для різних часів перемикання під час моделювання. Графік показує значне падіння напруги та потужності при t = 30, а при t = 40

спостерігається поступове зростання, що означає, що при t = 30 навантаження будинку було більшим, ніж потужність, а при t = 40 спостерігається поступове зростання напруги та потужності через надлишок енергії від інших будинків, яка подається в мережу.

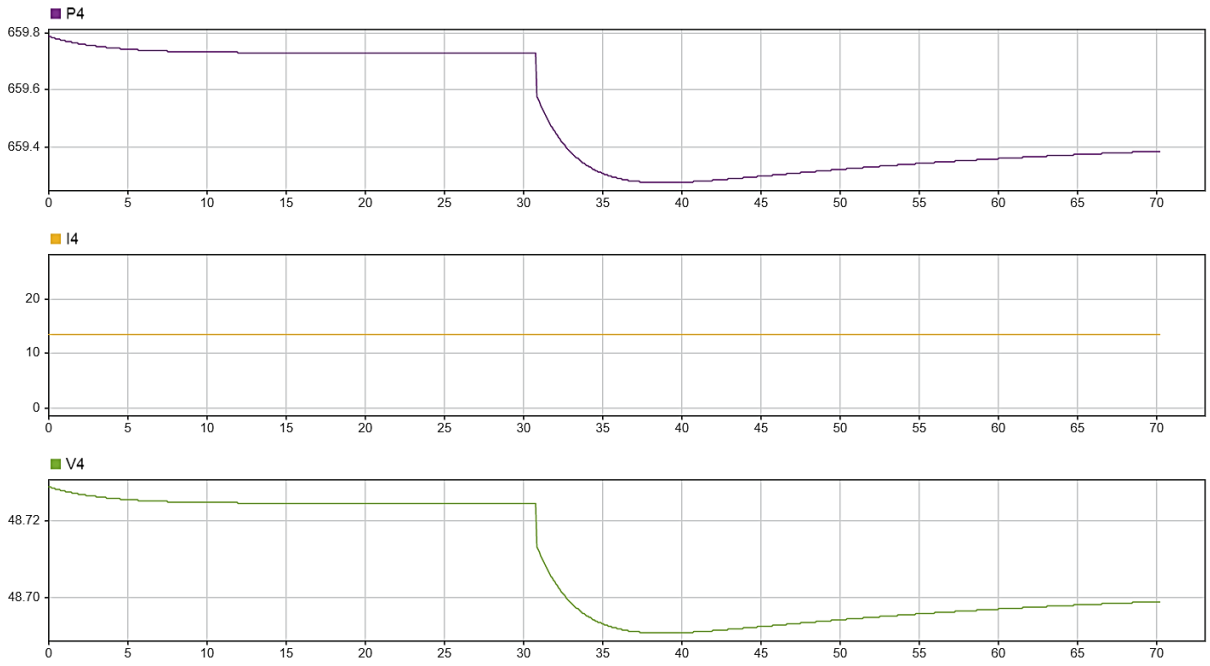


Рисунок 3.11 - Потужність, струм та напруга будинку 4

На рис. 3.12 показано напругу та стан заряду (СЗ) батареї для будинку. Початковий СЗ батареї починається з 80%, а потім спостерігається значне зменшення СЗ від t = 0 до t = 30, а також подальше зменшення, поки не досягне t = 70. Це зменшення пов'язане з підключенням інших домашніх навантажень до мікромережі. Чим більше будинків підключається, тим більше енергії розподіляється між ними.

На рис. 3.13 показано зміну напруги, струму та потужності навантаження будинку 5 для різних часів перемикання під час моделювання. Графік показує не значне падіння напруги та потужності при t = 20, що означає, що навантаження будинку було більшим, ніж потужність, що надходила від сонячної фотоелектричної станції, але при t=30 відбулося швидке зростання напруги та потужності через надлишок енергії від інших будинків, яка надходила в мережу.

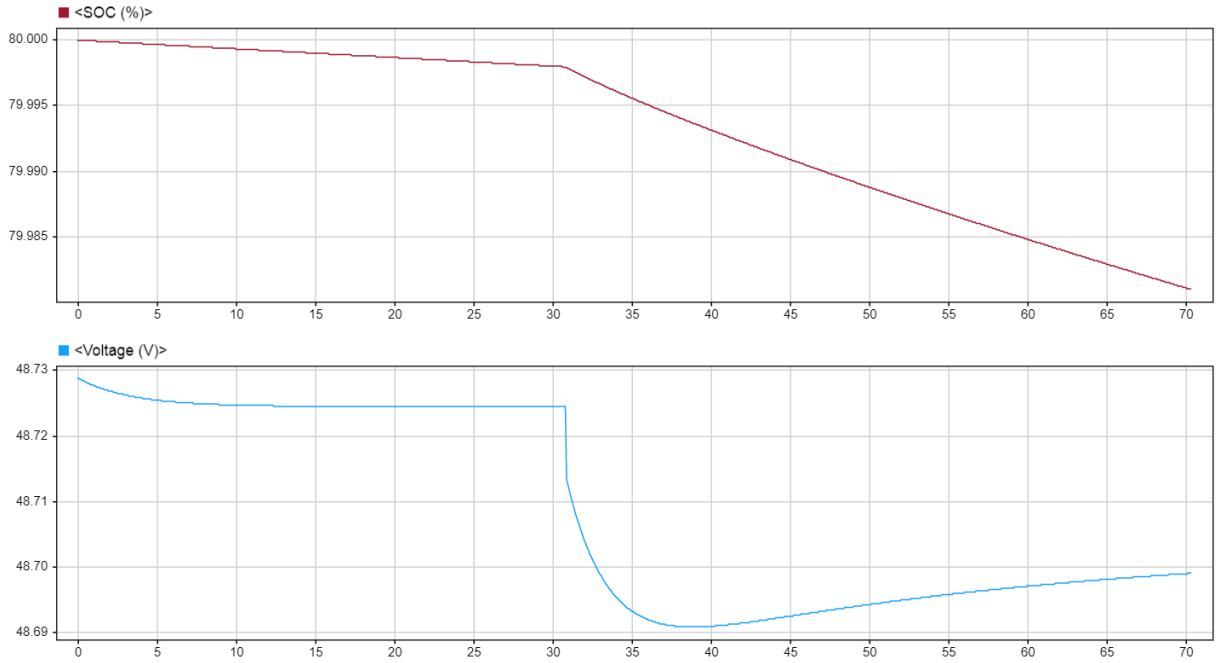


Рисунок 3.12 - - Стан заряду (SOC) батареї та напруга будинку 4

На рис. 3.14 показано напругу та стан заряду (СЗ) акумулятора для будинку. Початковий СЗ батареї починається на рівні 70%, а потім спостерігається значне зниження СЗ від t = 0 до t = 30, що відповідає періоду, коли батарея постачала додаткову енергію в будинок, коли будинок був відключений від мережі, і коли вона досягає t = 30, СЗ батареї починає швидко зростати, оскільки надлишкова енергія від мікромережі заряджає батарею.

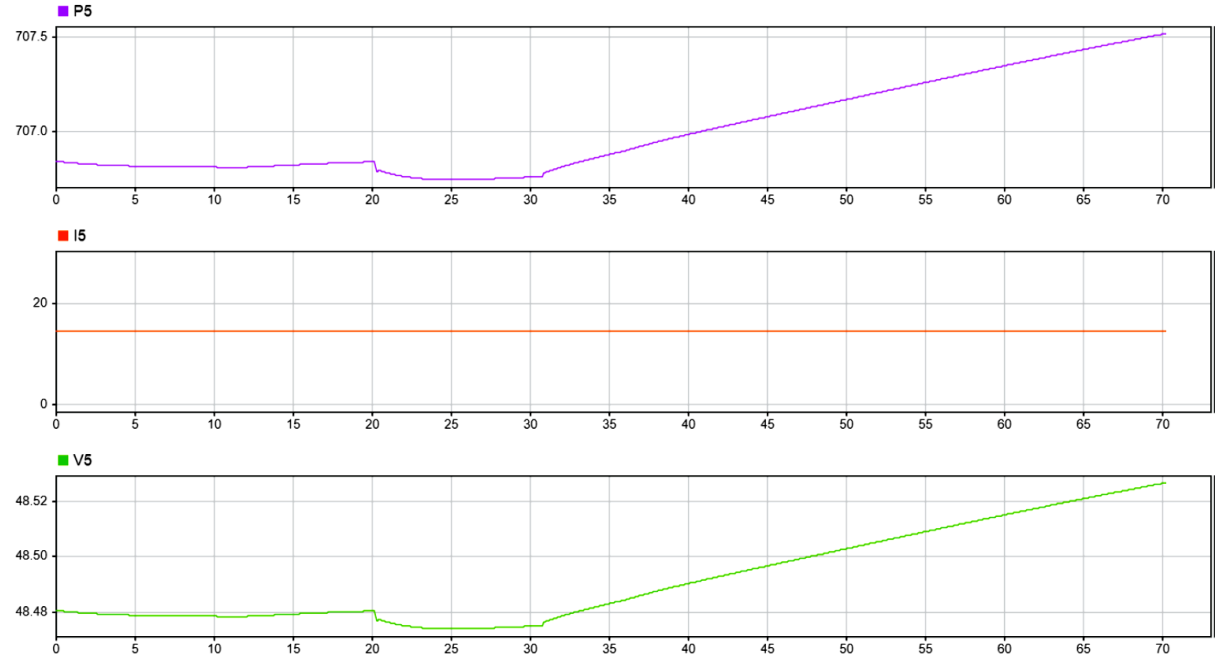


Рисунок 3.13 - Будинок 5. Потужність, струм і навантаження

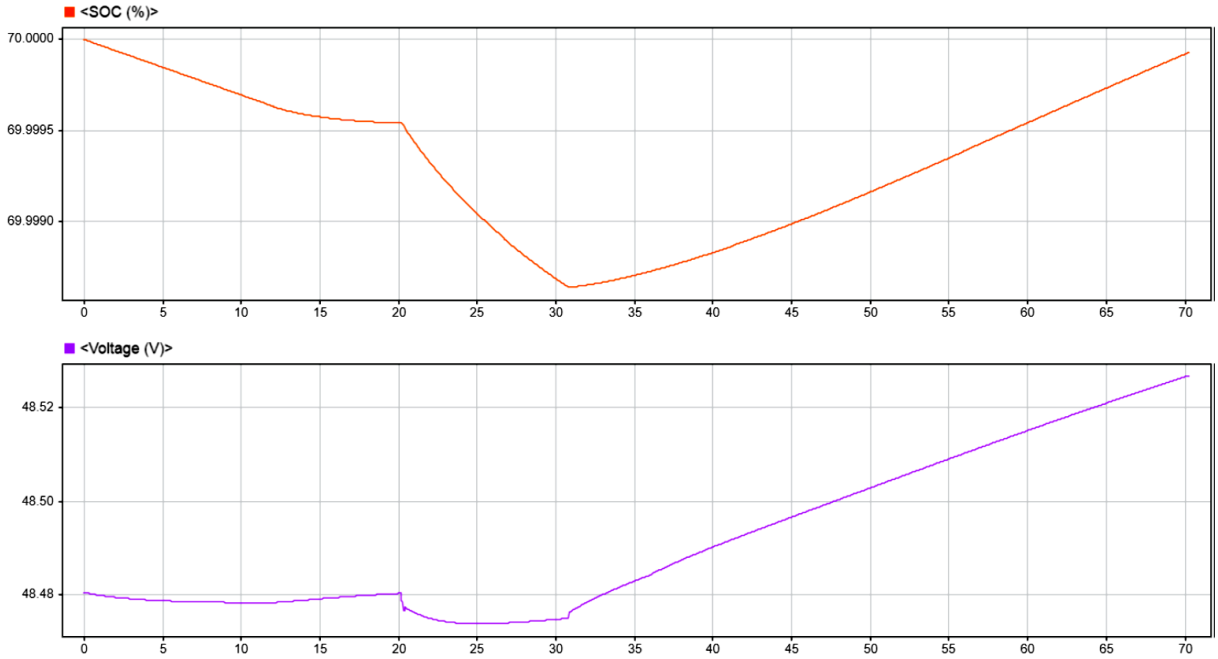


Рисунок 3.14 - Стан заряду (SOC) батареї та напруга будинку 5

На рис. 3.15 показано зміну напруги, струму та потужності навантаження будинку 6 для різних часів перемикання під час моделювання.

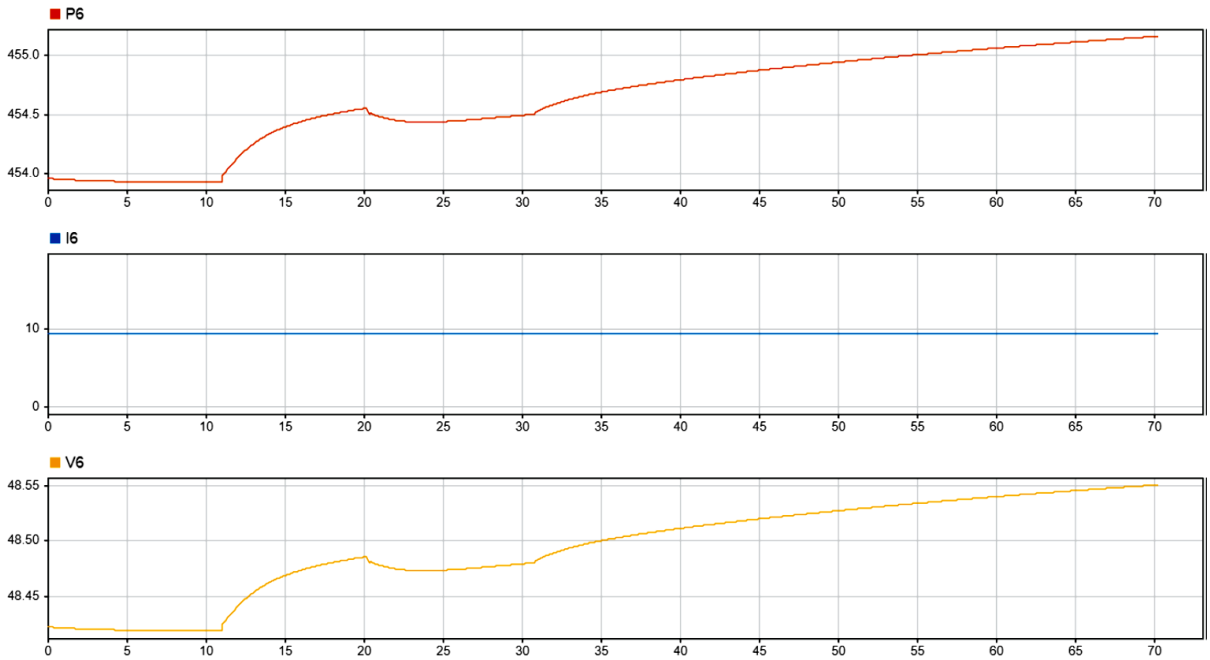


Рисунок 3.15 - Будинок 6: потужність, струм і напруга

Графік показує зростання напруги та потужності від t = 10 до t = 20, що означає період, коли будинок був підключений до мікромережі, але від t = 20 до t = 30

спостерігається падіння напруги та потужності, що означає період, коли будинок був відключений від мікромережі, а в t = 30 він був знову підключений до мікромережі, що призвело до постійного зростання напруги та потужності за рахунок надлишкової потужності з мережі.

На рисунку 3.16 показано напругу та стан заряду (СЗ) батареї для будинку. Початковий СЗ батареї починається з 68 %, і так само, як реагує навантаження, СЗ батареї також розряджається, коли будинок відключається від мікромережі, і заряджається при повторному підключенні до мікромережі.

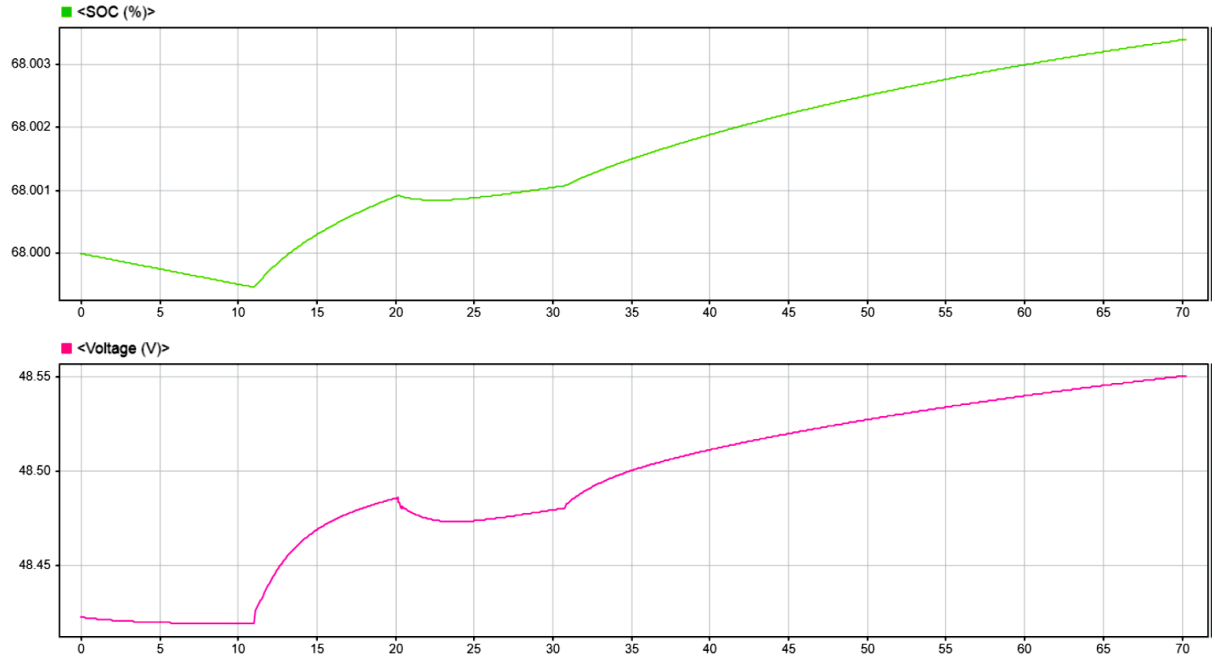


Рисунок 3.16 - Стан заряду (SOC) батареї та напруга будинку 6

На рис. 3.17 показано зміну напруги, струму та потужності навантаження будинку 7 для різних часів перемикання під час моделювання. Графік показує падіння напруги та потужності при t = 10, що означає період, протягом якого будинок був відключений від мікромережі, але також під'єднався разом з іншими будинками до мікромережі, що призвело до різкого зростання напруги та потужності, а також незначного зниження напруги та потужності до t = 30, що пов'язано з відключенням інших будинків від мікромережі, а від t = 30 до t = 70 спостерігається поступове зростання напруги та потужності в міру того, як інші будинки знову під'єднуються до мережі.

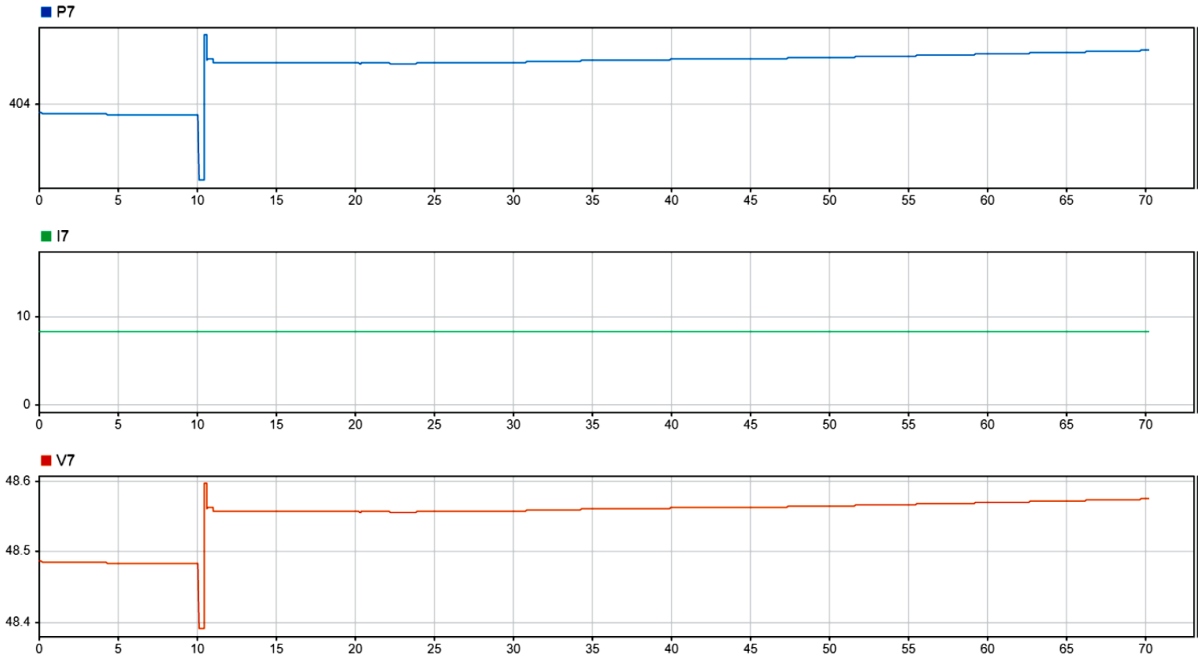


Рисунок 3.17 - Будинок 7: потужність, струм і напруга

На рис. 3.18 показано напругу та стан заряду (СЗ) батареї для будинку. Початковий СЗ батареї починається з 73%, і так само, як реагує навантаження, СЗ батареї також розряджається, коли інші будинки відключаються від мікромережі, як видно на t = 10 і t = 20, а на t = 30 SOC збільшується, коли вони знову підключаються до мікромережі.

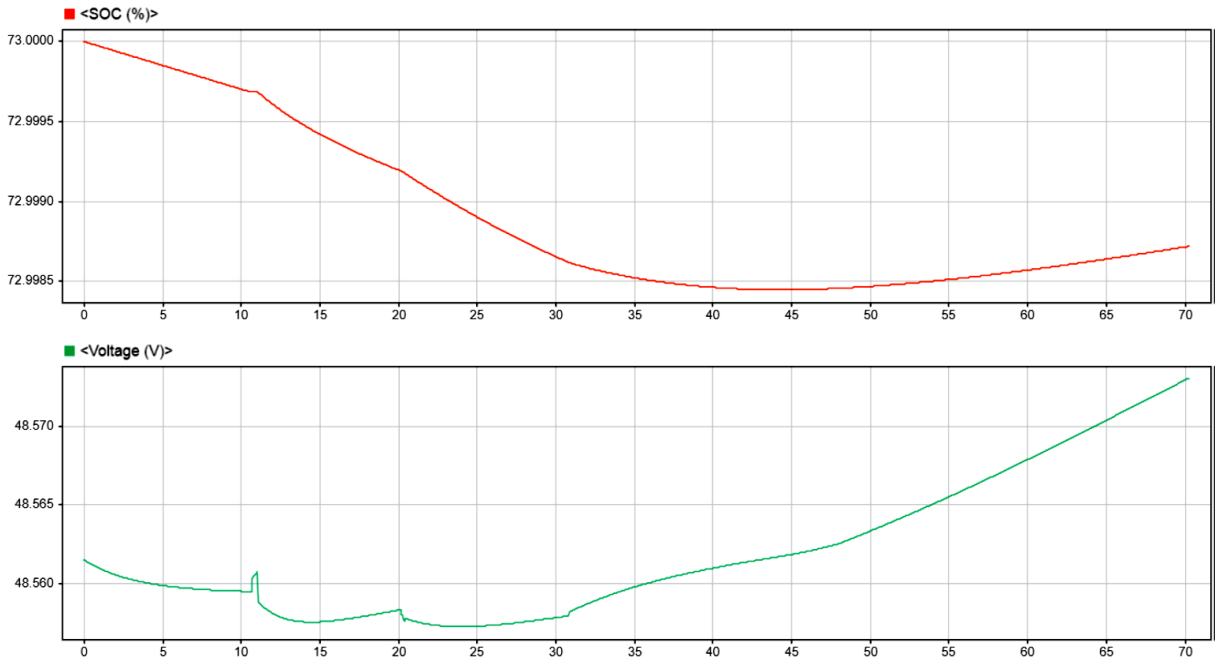


Рисунок 3.18 - Стан заряду (SOC) батареї та напруга будинку 7

На рис. 3.19 показано зміну напруги, струму та потужності навантаження будинку 8 для різних часів перемикання під час моделювання, які є подібними до характеристик будинку 7. Графік показує падіння напруги та потужності при t = 10, що означає період, коли будинок був відключений від мікромережі, але потім знову підключений разом з іншими будинками до мікромережі, що призвело до різкого зростання напруги та потужності, а також невелике зниження напруги та потужності до t = 20, через відключення інших будинків від мікромережі, а від t = 20 до t = 70 показує поступове зростання напруги та потужності, оскільки інші будинки знову підключаються до мережі. На рис.3.20 показано напругу та стан заряду (СЗ) батареї для будинку. Початковий СЗ батареї починається з 78%, і так само, як реагує навантаження, СЗ батареї також розряджається, коли інші будинки від'єднуються від мікромережі, як видно на t = 10 і t = 20, а на t = 20 с напруга збільшується, коли вони знову під'єднуються до мікромережі.

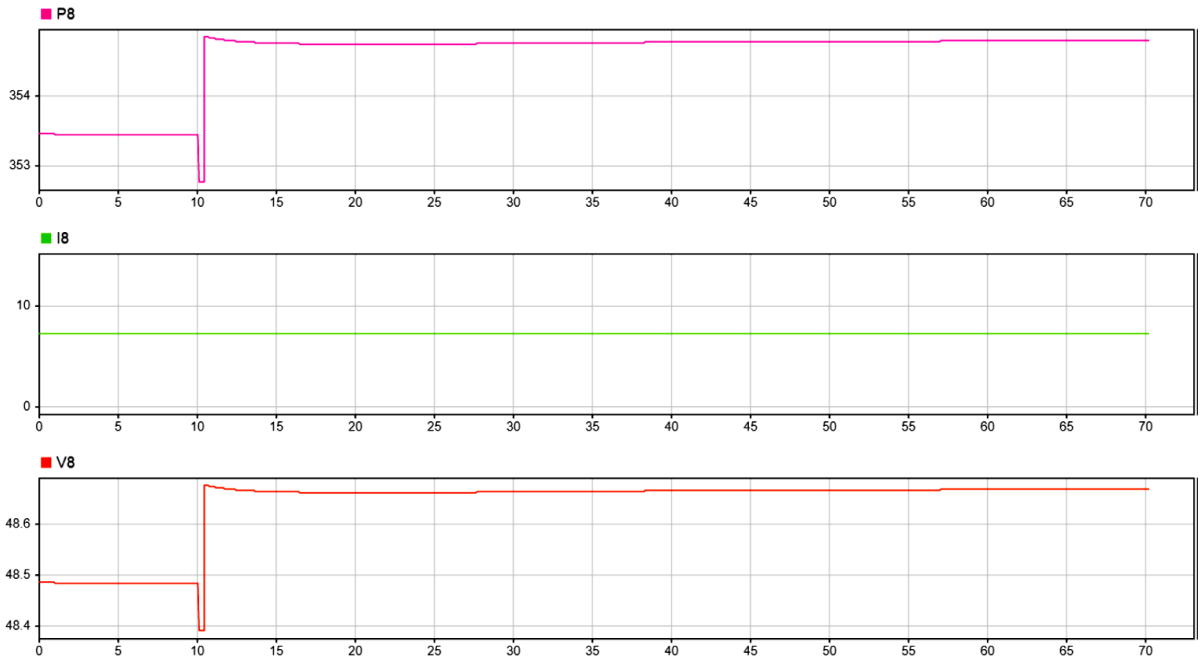


Рисунок 3.19 - Будинок 8. Потужність, струм та напруга на навантаженні

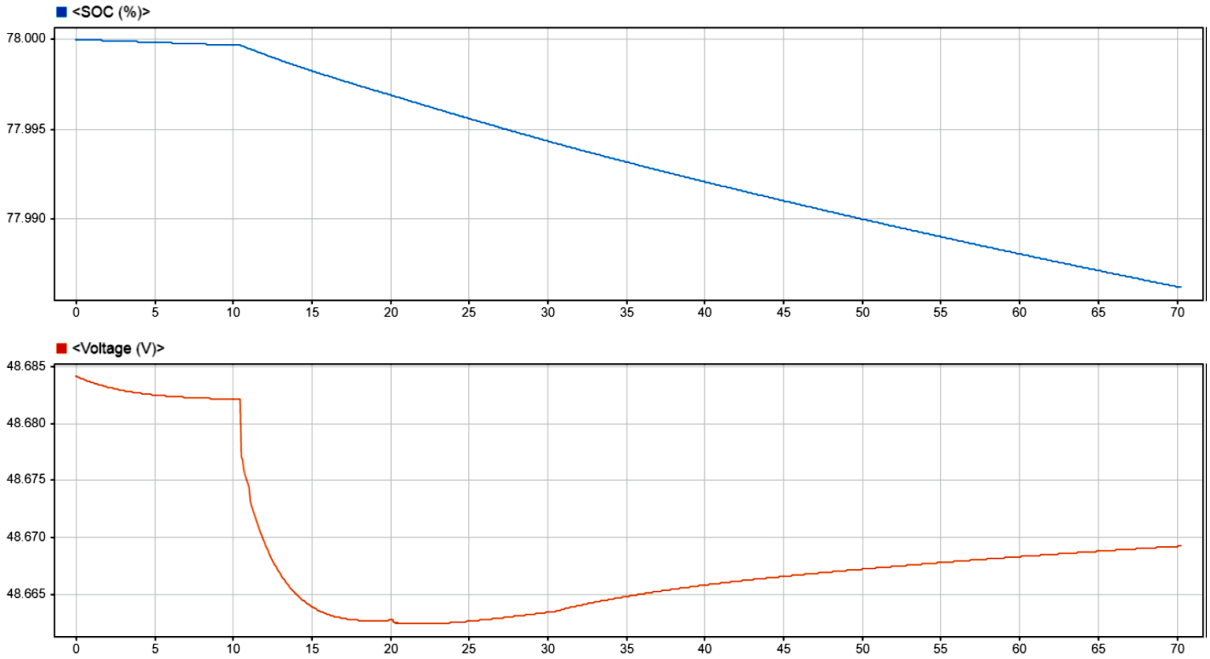


Рисунок 3.20 - Стан заряду (SOC) батареї та напруга будинку 8

На рис. 3.21 показано зміну напруги, струму та потужності навантаження будинку 9 для різних часів перемикання під час моделювання.

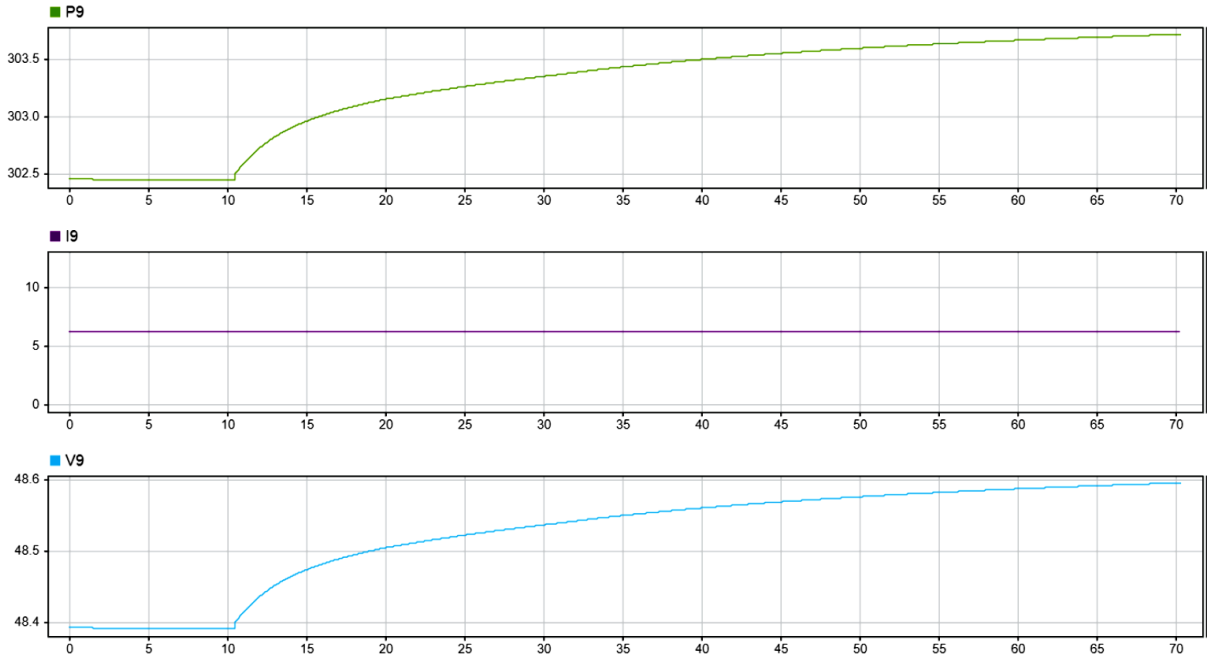


Рисунок 3.21 - Будинок 9, потужність, струм та напруга навантаження

Графік показує незначне падіння напруги та потужності від t = 0 до t = 10, що означає період, коли будинок був відключений від мікромережі, але потім знову підключений до мікромережі при t = 10 разом з іншими будинками, що призвело до швидкого зростання напруги та потужності аж до t = 70.

На рис. 3.22 показано напругу та стан заряду (СЗ) батареї для будинку. Початковий СЗ батареї починається з 67 % і так само, як реагує навантаження, СЗ батареї також розряджається, коли будинок відключається від мікромережі, як видно в період від t = 0 до t = 10, а від t = 10 до t = 70 SOC збільшується, коли будинок знову підключається до мікромережі, що означає розподіл надлишкової енергії між будинками в таборі.

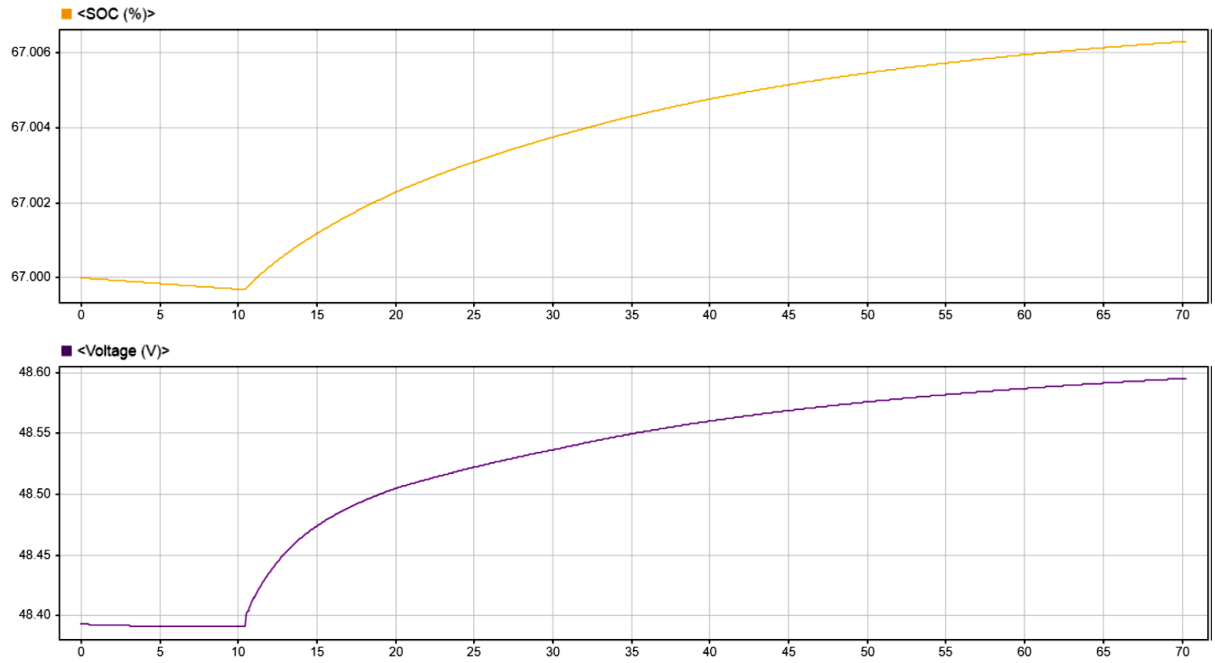


Рисунок 3.22 - Стан заряду (SOC) батареї та напруга будинку 9

3.2 Динамічне моделювання автономної роботи фотоелектричної гібридної системи живлення головного корпусу

3.2.1 Компоненти системи

На рис. 3.23 нижче показано імітаційну модель системи, виконану в середовищі Matlab Simulink.

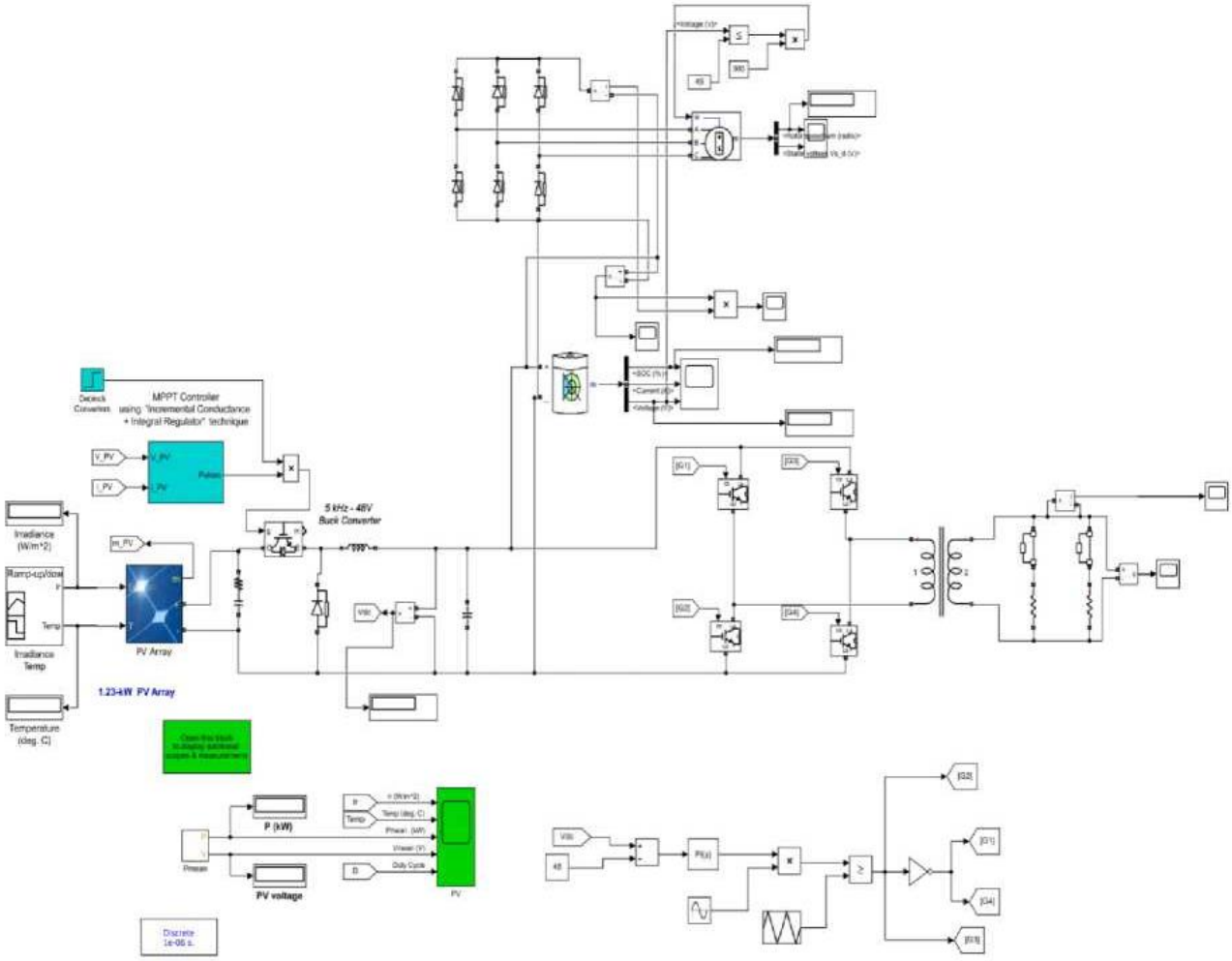


Рисунок 3.23 – Імітаційна модель гібридної системи живлення головного корпусу у Simulink

Система складається з фотоелектричних панелей потужністю 1,23 кВт (табл.3.5), а це 4 модулі потужністю 325 Вт кожен, 2 з яких з'єднані послідовно, а 2 - паралельно. Використосовується MPPT контролер для отримання максимальної потужності. DC - DC перетворювач використовується для зниження напруги фотоелектричних модулів до напруги шини 48 В,

фотоелектричні модулі заряджають батарею і подають живлення на навантаження.

Система також включає в себе синхронний генератор на постійних магнітах, який служить в якості аварійної резервної системи живлення для зарядки акумулятора, коли напруга акумулятора падає нижче 49 В через непостійність сонячного випромінювання. Вихідна напруга 48 В постійного струму з перетворювача подається безпосередньо на інвертор, який перетворює постійний струм у змінний. Для керування DC-DC перетворювачем використовується MPPT. Вихід генератора підключений до шини постійного струму за допомогою мостового випрямляча. Інвертор виробляє вихідну напругу 50 Гц, 220 В. Навантаження розділене на дві групи для представлення змінного навантаження.

Таблиця 3.5 - Перелік компонентів системи.

Прилад	Кількість	Характеристика
PV	4 модулі по 325 Вт	1,23 кВт
Батарея	4 акумуляторні батареї 12 В ємністю 350А·год	48 В
Генератор	1	4,8 кВт
Інвертор	1	1,6 кВт

3.2.2 Моделювання системи при 50 % навантаженні і акумулятору зарядженому на 50 %

На рис.3.24 нижче показано випромінювання, температуру навколишнього середовища, потужність, напругу та навантаження фотоелектричної системи. У цьому експерименті акумуляторна батарея не підключена і навантаження споживає енергію лише від сонця і залежить від її кількості.

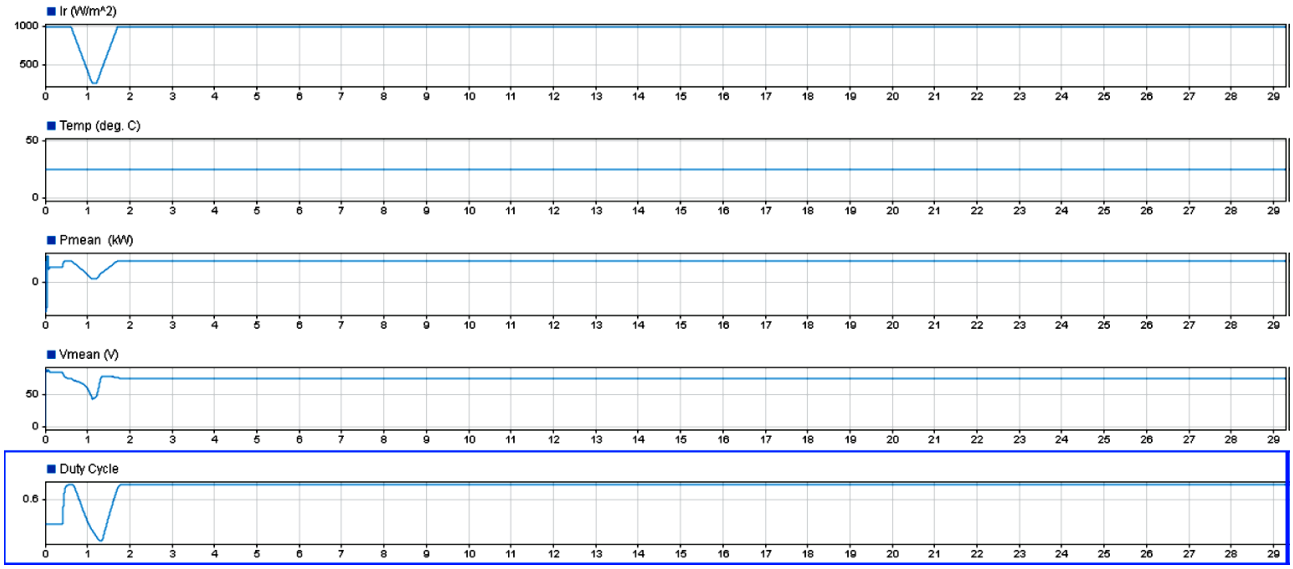


Рисунок 3.24 – Результати моделювання без акумулятора в системі. На графіках зображено: сонячне випромінювання, температура оточуючого середовища, генерована потужність, напруга та потужність навантаження

Коли акумуляторна батарея підключена в систему, робочий цикл змінюється в залежності від напруги фотоелектричного перетворювача, як показано на рис. 3.25. Вказує на зарядку акумулятора при підтримці роботи на максимальній робочій точці. При відсутності сонячної енергії навантаження живиться від акумулятора.

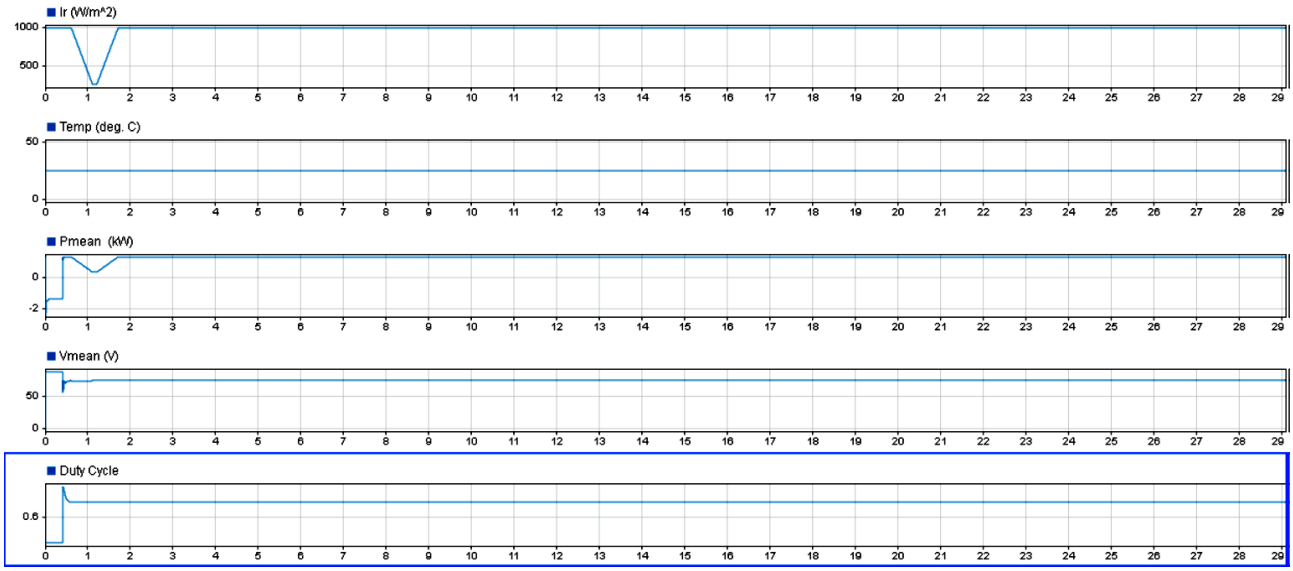


Рисунок 3.25 - Результати моделювання з підключеним акумулятором. На графіках зображено: сонячне випромінювання, температура оточуючого

середовища, генерована потужність, напруга та потужність навантаження

На рис. 3.26 показано процес заряджання батареї на початковому етапі, коли її рівень заряду становить 50 %. При 50% рівні заряду напруга батареї нижче 49 В, в цей момент вмикається генератор потужністю 4,8 кВт, щоб зарядити батарею до позначки 49 В, а потім поступово вимикається після перевищення 49 В, залишаючи тільки фотоелектричні перетворювачі для зарядки батареї. З графіка стану заряду (SOC) видно, що коли генератор увімкнений, батарея заряджається швидко, але коли генератор починає вимикатися, СЗ батареї збільшується повільно, це пояснюється тим, що потужність, яка генерується генератором 4,8 кВт, вища за потужність, яка генерується фотоелектричним модулем, що становить 1,29 кВт.

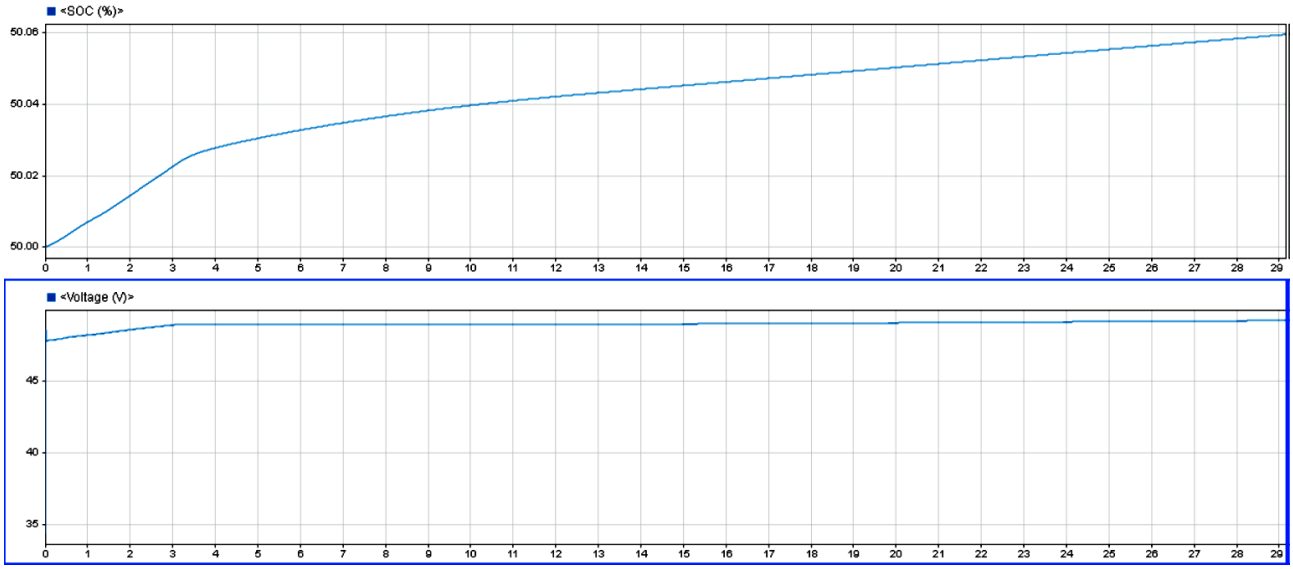


Рисунок 3.26 - Стану заряду та напруга акумулятора

На рис. 3.27 показано частоту обертання ротора генератора та напругу на статорі. Генератор має швидкість обертання ротора 300 рад /сек (~50 Гц). при постійній швидкості обертання ротора напруга на статорі поступово зростає, коли генератор заряджає батарею. При половинному навантаженні 0,63 кВт генератор заряджає батарею лише протягом короткого часу, поки напруга батареї не перевищить 49 В, після чого вимикається.

З рис.3.27 видно, що сигнал різко змінився з 300 рад/сек до 0 і з 33В до 0,

це пояснюється тим, що при половинному навантаженні більше енергії надходить до батареї від фотоелектричної установки, отже, менше часу знадобиться для того, щоб напруга перевищила 49 В і після цього генератор вимкнеться. Час, протягом якого генератор працює, є коротким у порівнянні зі випадком повного навантаження.

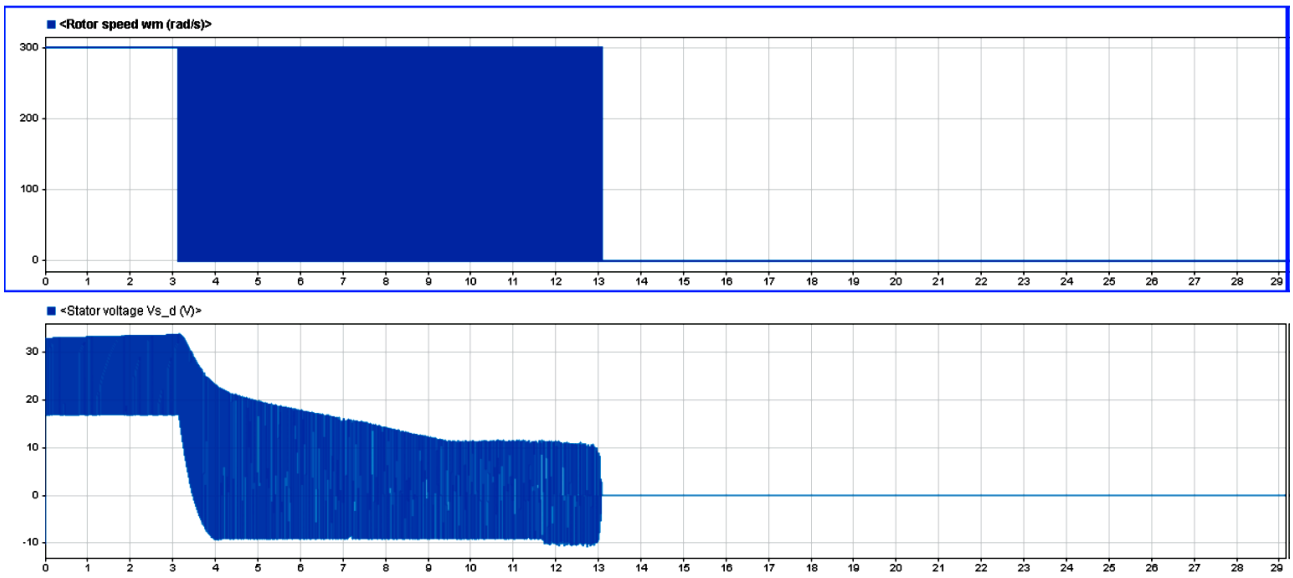


Рисунок 3.27 - Частота обертання ротора генератора та напруга на статорі

На рис. 3.28 показано час увімкнення та вимкнення генератора при половинному навантаженні. Видно, що потужність, яка подається від генератора потужністю 4,8 кВт, є, але лише на короткий час, після чого різко падає. Це пов'язано з тим, що як тільки напруга на акумуляторі перевищує 49 В, система управління акумулятора негайно вимикає генератор, а оскільки він завантажений наполовину, фотоелектрична батарея зручно живить навантаження.

На рис. 3.29 вище показано напругу навантаження системи, що працює при 220 В середньоквадратичному значенні з піком при 311 В

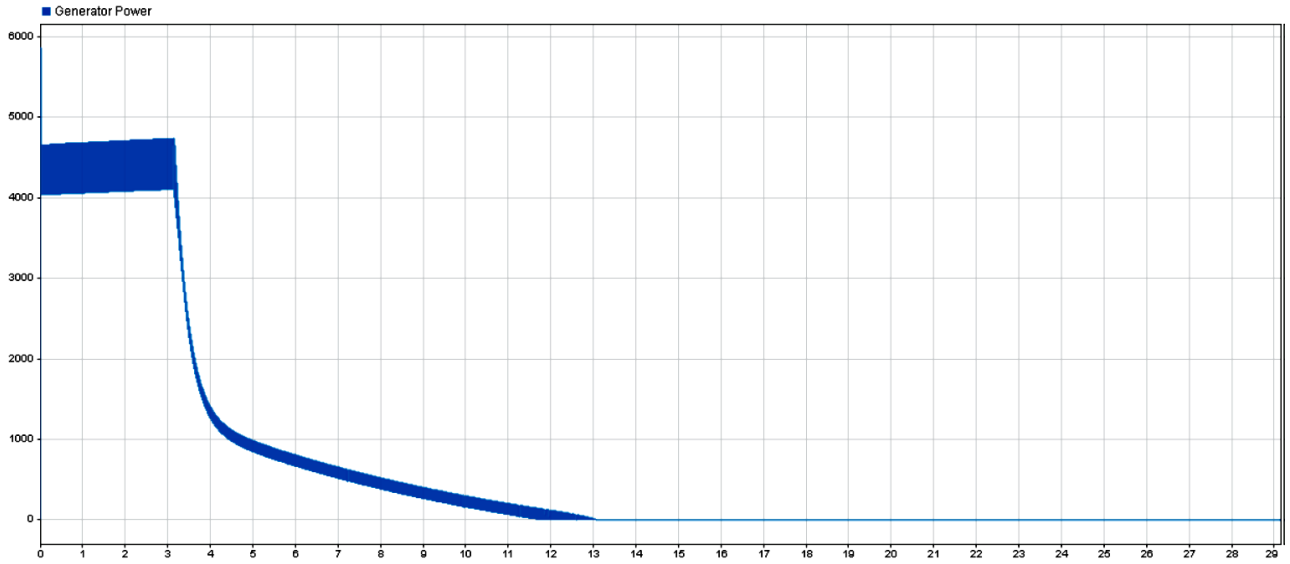


Рисунок 3.28 - Потужність генератора

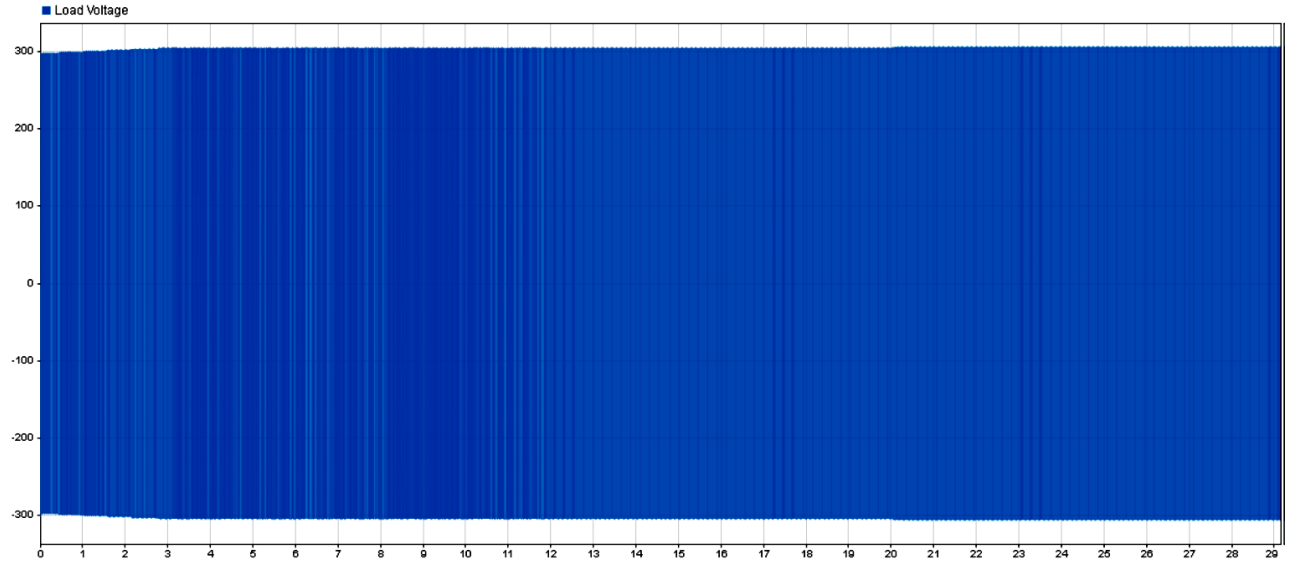


Рисунок 3.29 - Напруга навантаження

3.2.3 Моделювання системи при повному навантаженні і акумулятору зарядженому на 50%

При повному навантаженні генератор заряджає батарею, але не так швидко, як при половинному навантаженні. Після того, як напруга батареї перевищує 49 В, генератор поступово вимикається, залишаючи тільки фотоелектричний перетворювач. Фотоелектрична станція також заряджає

батарею і подає живлення до навантаження. Ці результати показані на рис. 3.30 нижче.

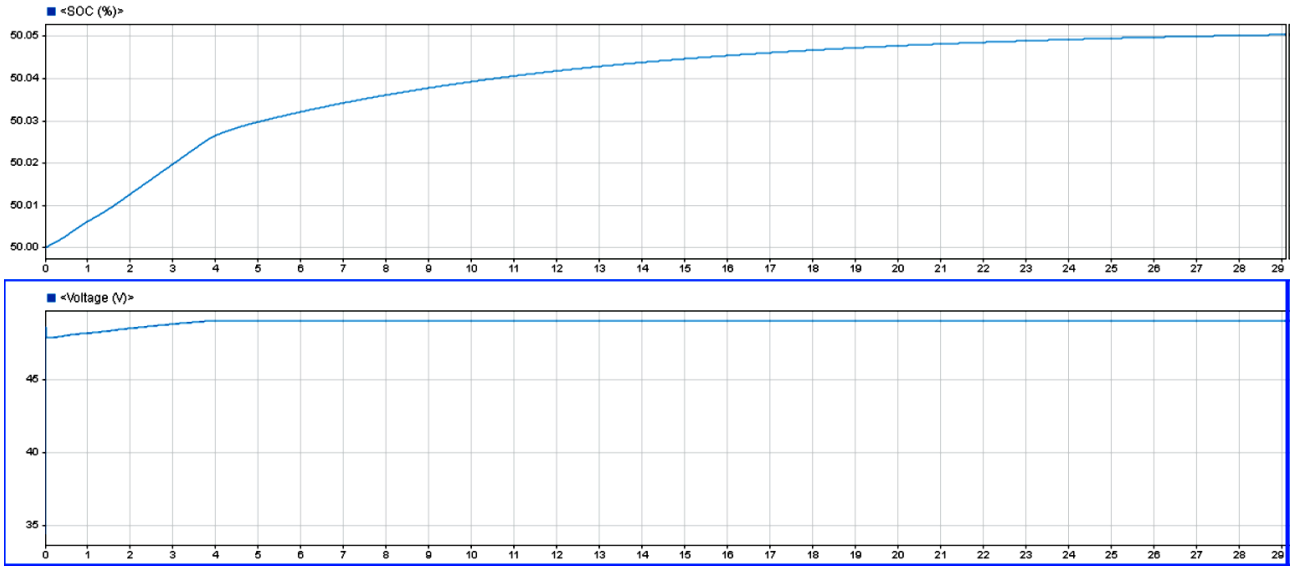


Рисунок 3.30 - Стану заряду та напруга акумулятора

З рис. 3.31 видно, що час, протягом якого генератор працює, довший порівняно зі сценарієм з половинним навантаженням. Це пояснюється тим, що при повному навантаженні менше енергії надходить до акумулятора від фотоелектричних модулів, а отже, більше часу знадобиться для того, щоб напруга перевищила 49 В.

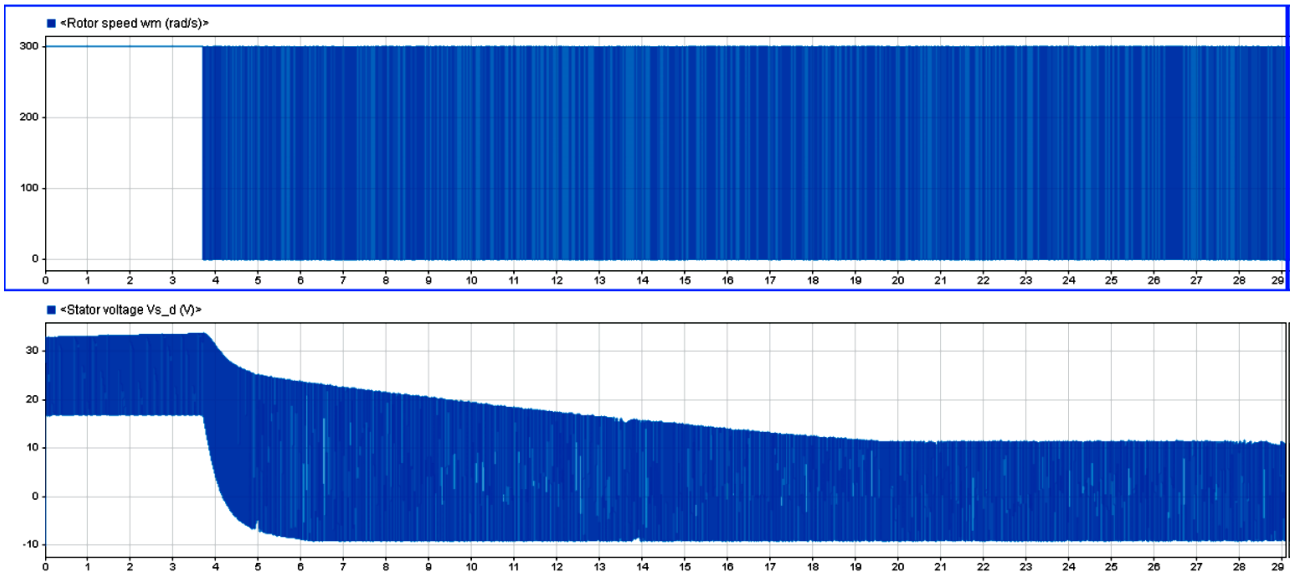


Рисунок 3.31 - Частота обертання ротора генератора та напруга на статорі

На рис. 3.32 показано напругу навантаження системи при повному навантаженні, яка є такою ж, як і при половинному навантаженні.

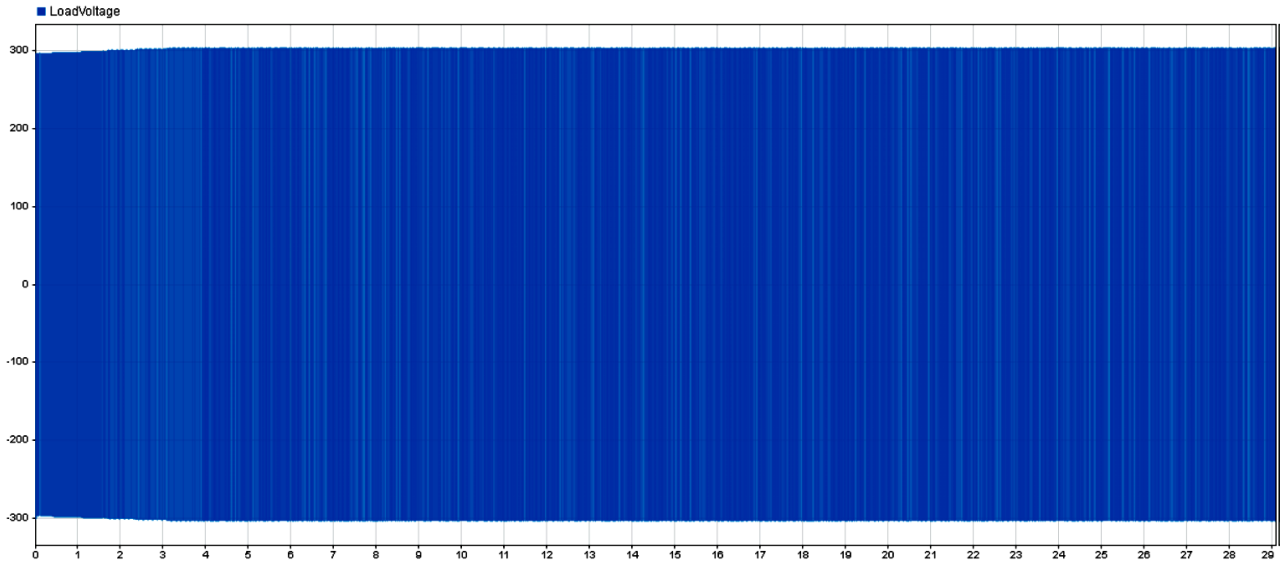


Рисунок 3.32 - Напруга навантаження

На рис. 3.33 показано потужність генератора при повному навантаженні, генератор увімкнений, коли напруга нижче 49 В, але поступово знижується, потрібно більше часу, щоб потужність досягла нуля, порівняно зі випадком з половинним навантаженням.

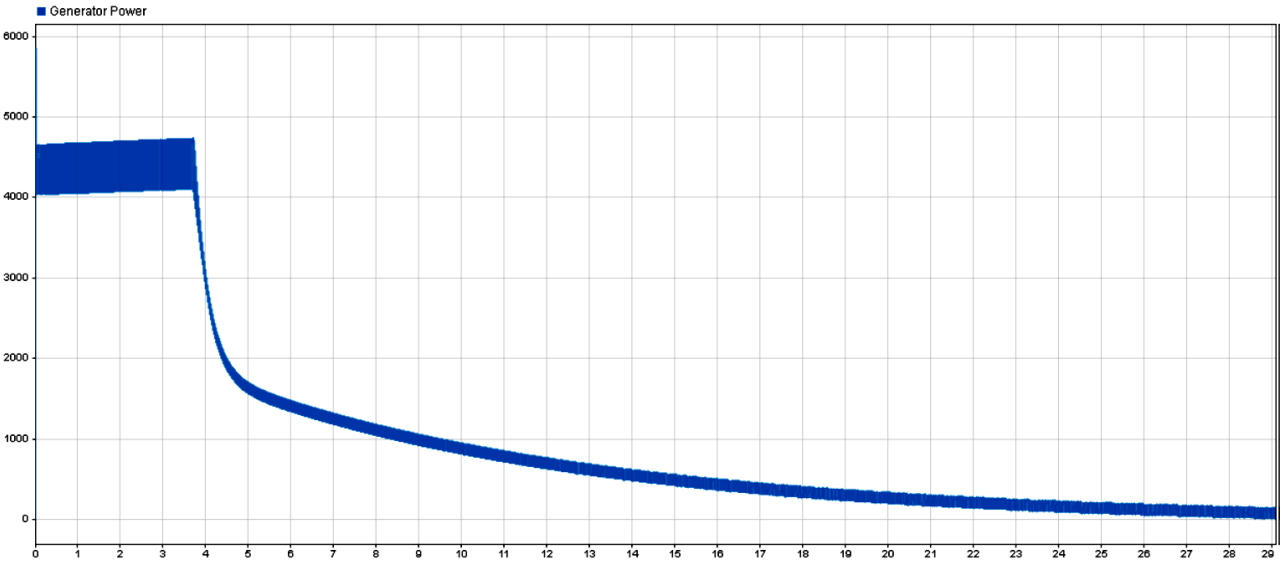


Рисунок 3.33 - Потужність генератора

3.2.4 Моделювання системи при повному навантаженні і акумулятору зарядженому на 98 %

При повному навантаженні і стану заряду акумулятора 98%напруга батареї перевищує 49 В і генератор не вмикається, залишаючи тільки фотоелектричні модулі для зарядки батареї і живлення навантаження. Оскільки навантаження повне, а сонячне випромінювання змінюється від 500 Вт/м^2/день до 1000 Вт/м^2/день, спостерігається різке падіння стану заряду батареї, коли випромінювання падає до 500 Вт/м^2/день, і поступово зростає, коли випромінювання повертається до позначки 1000 Вт/м^2/день. Тоді фотоелектрична станція заряджає батарею швидше порівняно зі варіантом повного навантаження, одночасно забезпечуючи живленням навантаження. Ці результати показані на рисунках 3.34, 3.35, 3.36 та 3.37.

На рис. 3.34 показано стан заряду батареї, починаючи з 98%.

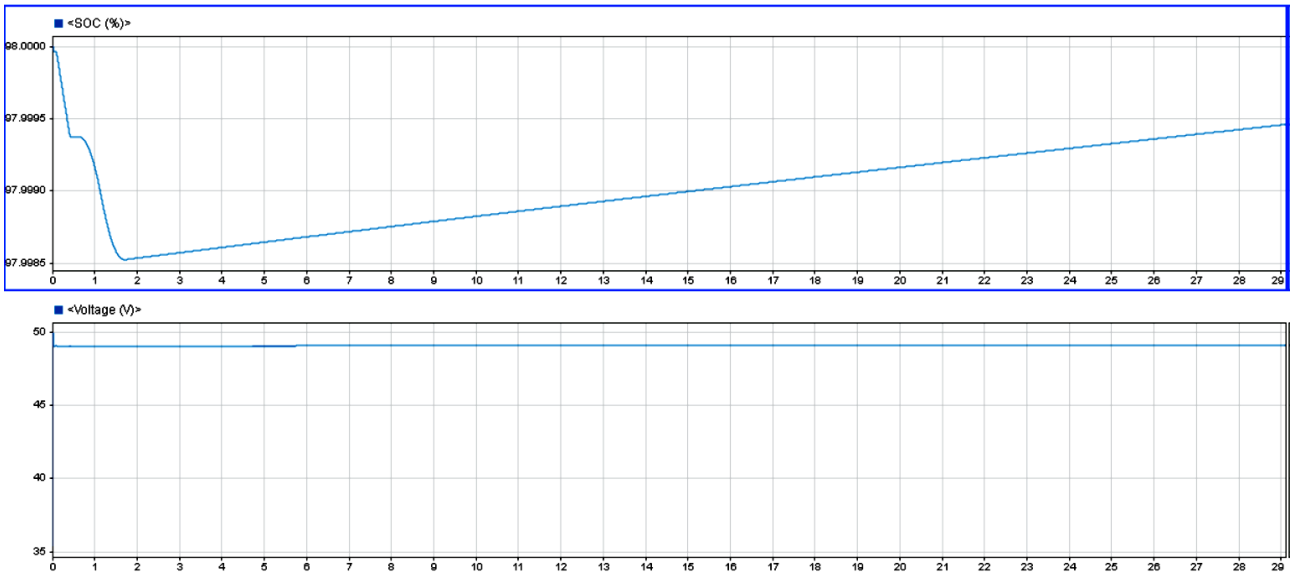


Рисунок 3.34 - СЗ та напруга акумулятора

У цьому випадку система моделюється при повному навантаженні, і на графіку видно різке падіння рівня заряду батареї при зменшенні сонячного випромінення з 1000 кВт/м^2/день до 500 кВт/м^2/день. Це пов'язано з тим, що при зменшенні сонячного випромінювання відбувається зменшення потужності, що надходить від PV, а також, оскільки при SOC= 98% напруга на

акумуляторі вище 49 В, генератор повністю вимкнений, отже, потужність, що надходить до акумулятора, надходить виключно від PV, а оскільки PV живить і акумулятор, і навантаження одночасно, при повному навантаженні і зменшенні сонячного випромінювання, при 500 кВт/м^2 /день на батарею надходить менше енергії, отже, відбувається різке падіння стану заряду батареї, але при збільшенні випромінювання до 1000 кВт/м^2/день спостерігається стрімке зростання стану заряду батареї.

На рисунку 3.35 вище показано стан генератора при 98% СЗ акумулятора. При 98% СЗ напруга батареї перевищує 49 В, а система управління генератором спроектована таким чином, що при напрузі вище 49 В генератор вимикається, отже, напруга генератора дорівнює нулю.

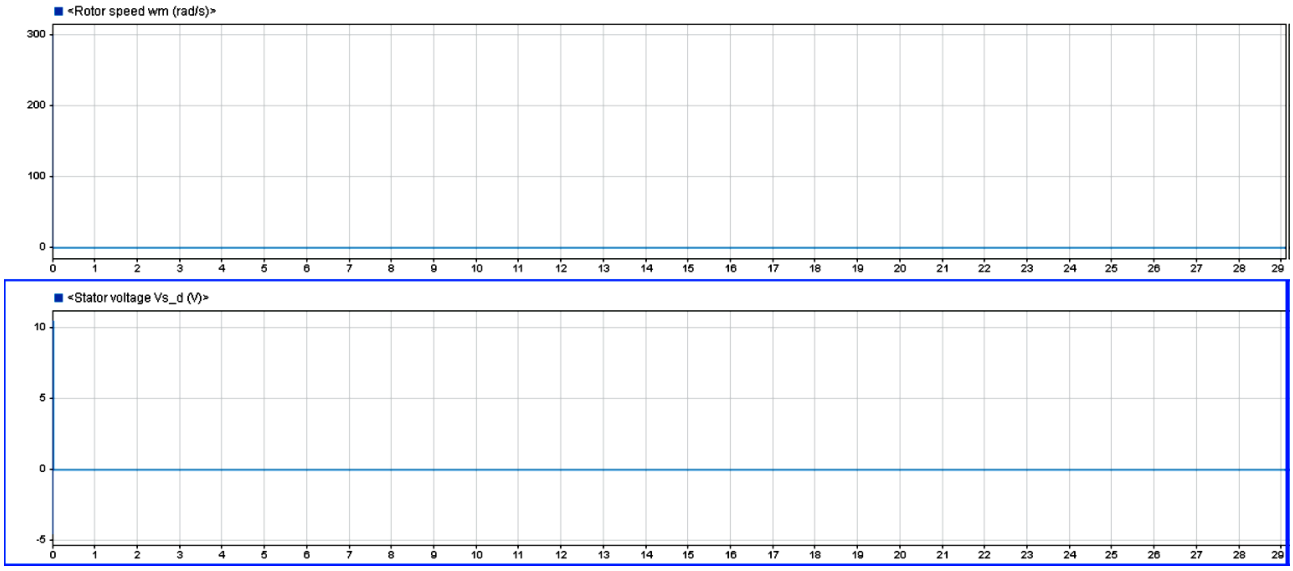


Рисунок 3.35 - Частота обертання ротора генератора та напруга на статорі

На рисунку 3.36 показано нульову потужність генератора, оскільки генератор не працює, коли напруга батареї перевищує 49 В.

На рисунку 3.37 показано напругу навантаження системи, яка становить 220 В середньоквадратичного значення (пік 311 В).

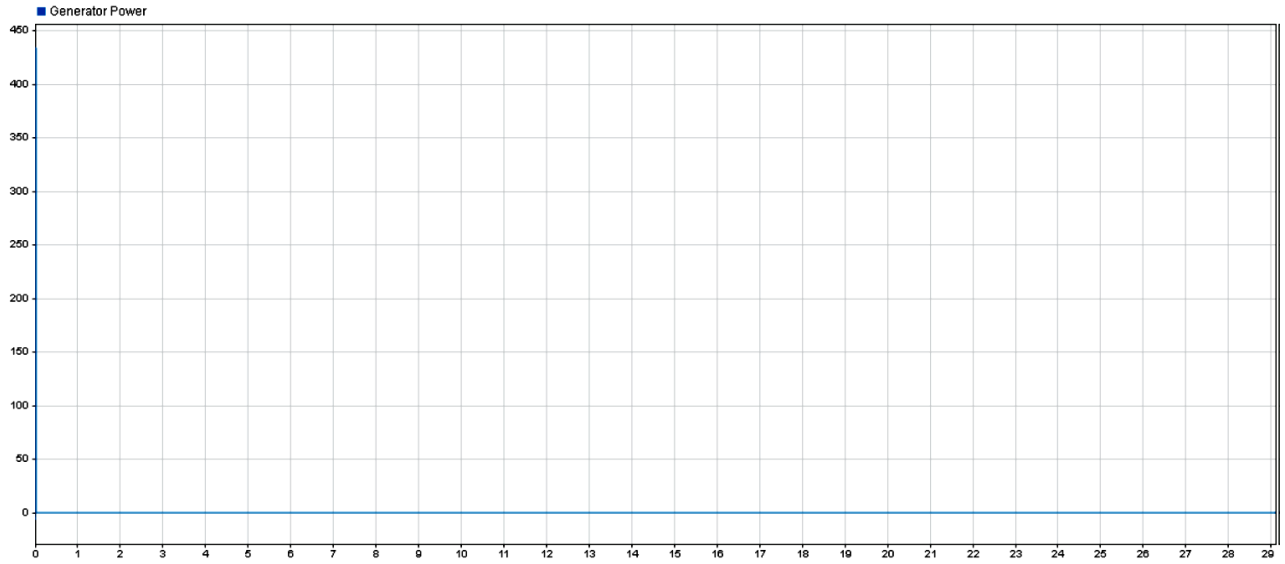


Рисунок 3.36 - Потужність генератора

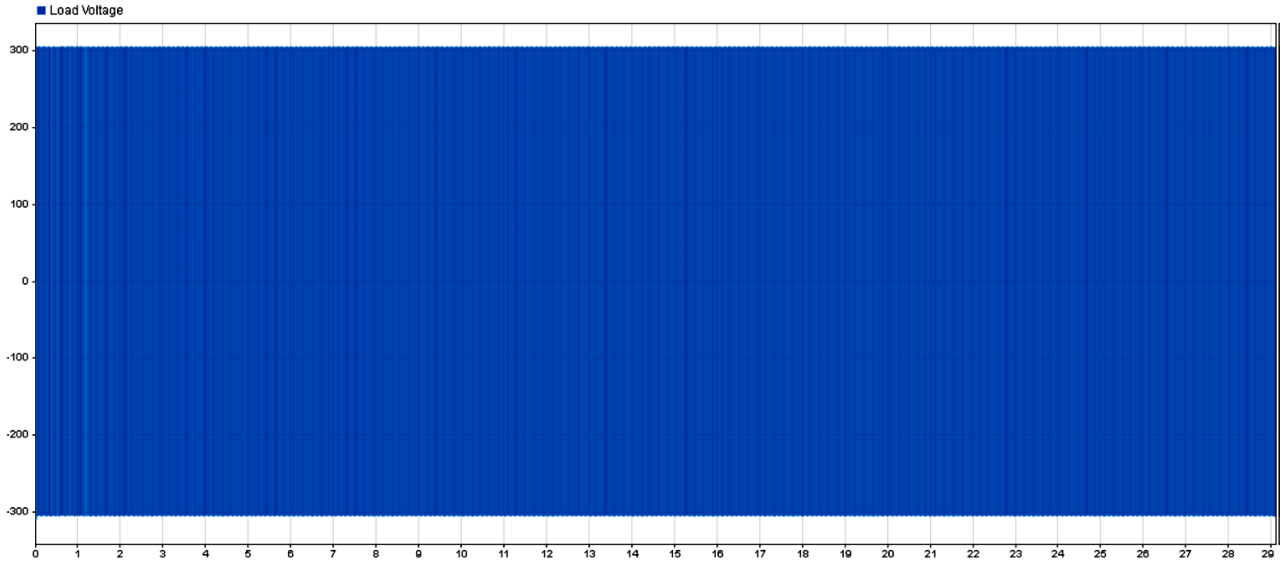


Рисунок 3.37 - Напруга навантаження

3.2.5 Моделювання системи при 50 % навантаженні і акумулятору зарядженому на 98 %

При половинному навантаженні і стану заряду акумулятора SOC=98% , напруга акумулятора перевищує 49 В, і генератор вимикається, залишаючи тільки фотоелектричні модулі для зарядки акумулятора і живлення навантаження. Оскільки навантаження тільки 50 %, коли випромінювання

падає до 500 кВт/м^2/день, зниження стану заряду є мінімальним, а коли випромінювання повертається до 1000 кВт/м^2/день, відбувається швидке збільшення стану заряду батареї. Фотоелектрична станція заряджає батарею швидше, ніж при повному навантаженні, одночасно забезпечуючи живлення навантаження.

На рис. 3.38 показано стан заряду батареї для випадку з половинним навантаженням, коли випромінювання змінюється від 1000 кВт/м^2 /день до 500 кВт/м^2/день. З рисунка видно, що спочатку стан заряду на рівні 98 % лише трохи знизився порівняно зі сценарієм повного навантаження, а потім спостерігається швидке зростання рівня заряду. Це пояснюється тим, що для сценарію з половинним навантаженням потужність, що подається на батарею, є більшою порівняно з випадком з повним навантаженням.

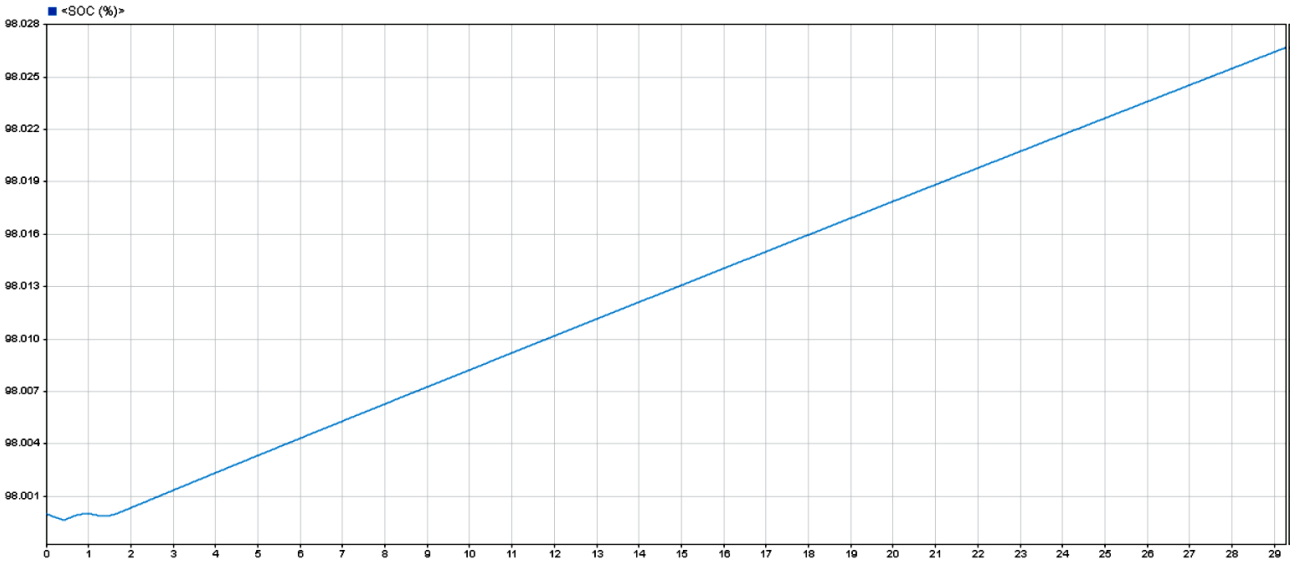


Рисунок 3.38 - Стану заряду акумулятора

При зменшенні сонячного випромінювання ефект розряду акумулятора дуже мінімальний, а при збільшенні сонячного випромінювання відбувається швидке збільшення стану заряду акумулятора.

На рис. 3.39 показано напругу батареї при стану заряду акумулятора 98 % з невеликим зниженням при зменшенні опромінення до 500 кВт/м^2/день і постійним зростанням напруги при поверненні до 1000 кВт/м/день.[2]

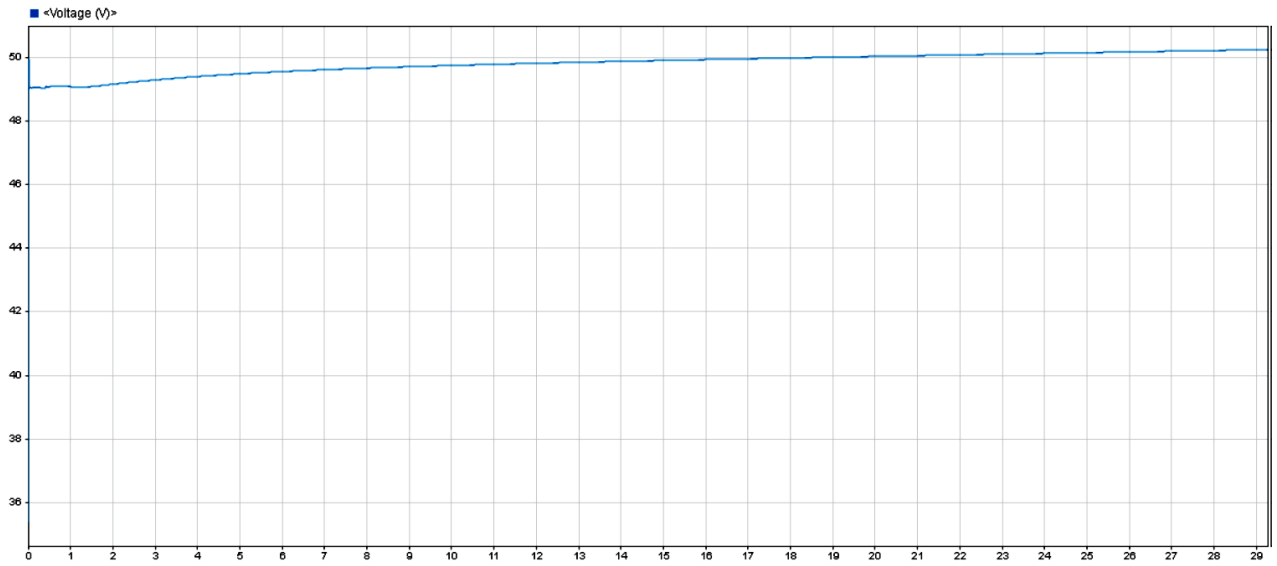


Рисунок 3.39 - Напруга акумулятора

3.3 Висновки до розділу

1. Проведено динамічне імітаційне моделювання мікромережі для дитячого табору в режимі автономної роботи. Запропонована мікромережа, що складається з сонячних фотоелектричних модулів і акумуляторів, була підключена таким чином, щоб енергія розподілялася між 9 будинками в таборі через загальну шину постійного струму 48 В для оптимального використання енергії та зниження витрат.
2. Результати моделювання показали, що при підключенні ви від’єднанні будинків від спільної шини, енергія подається в мікромережу і використовується іншими будинками. Тобто система балансується. Наприклад, порівнюючи результати для будинку 1 і будинку 2, можна побачити, що для будинку 1 при t = 20 спостерігається значне падіння напруги і потужності, а при t = 30 - поступове зростання, що означає, що будинок був відключений від мережі і знову підключений відповідно, тоді як для будинку 3 при t = 20 спостерігається постійне зростання напруги і потужності, оскільки він залишається підключеним до мережі, а при t = 30 - значне зростання, що означає,

що будинок отримував надлишкову енергію від мікромережі. Це означає, що в період t=30, коли будинок 1 був знову підключений, напруга і потужність будинку 2 почала зростати через надлишкову потужність, що надходила в мікромережу через повторне підключення будинку 1.

3. Результати показують, що для дитячого табору такого розміру мікромережа постійного струму з спільним використанням енергії є найкращим варіантом. Обрана шина постійного струму 48 В є на 100% безпечним і простим рішенням, яке не потребує використання інверторів.
4. Виконано динамічне імітаційне моделювання гібридної фотоелектричної системи з резервним акумулятором і дизельним генератором для головного корпусу табору. Система була протестована в декількох умовах і конфігураціях. Спочатку система була змодельована з батареєю із станом заряду на рівні 50 % і повним навантаженням, було помічено, що фотоелектрична система заряджає батарею і постачає живлення до навантаження одночасно, в умовах, коли напруга батареї падає нижче 49 В, вмикається аварійний генератор і заряджає батарею до тих пір, поки вона не перевищить 49 В, а потім вимикається.
5. Гібридна фотоелектрична система була протестована шляхом імітаційного моделювання в різних конфігураціях, і результат показав, що для автономного живлення головного корпусу у випадку блекаутів система з фотоелектричних модулів, акумуляторної батареї та аварійного резервного генератора є найкращим, економічно вигідним і надійним варіантом електропостачання.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Заходи безпеки при монтажі електроустановок

Роботи в електроустановках, що стосується заходів безпеки, діляться на три категорії [28]:

1) зі зняттям напруги;

2) без зняття напруги на струмовідних частинах і поблизу них;

3) без зняття напруги не на струмовідних частинах, що знаходяться під напругою.

У випадку одночасної роботи в електроустановках напругою до і понад 1000 В категорії робіт визначаються як для установок більше 1000 В.

До робіт, які виконуються зі зняттям напруги, належать роботи, які здійснюються в електроустановці (або її частини), в якій з струмопровідних частин знято напругу і доступ в електроустановки (або їх частини), що знаходяться під напругою, стало неможливим.

До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах. Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них слід виконувати не менше як двом працівникам, з яких керівник робіт повинен мати групу IV, інші – групу III.

В електроустановках напругою понад 1000 В роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них слід виконувати із застосуванням засобів захисту для ізоляції працівника від струмопровідних частин або від землі. У випадку ізоляції працівника від землі роботи слід виконувати згідно спеціальних інструкцій або технологічними картами, в яких передбачені необхідні заходи безпеки.

Під час роботи в електроустановках напругою до 1000 В без зняття напруги на струмопровідних частинах або поблизу від них необхідно:

- захистити розташовані поблизу робочого місця інші струмопровідні частини, які знаходяться під напругою, і до яких можливо випадковий дотик;

- працювати в діелектричній взуття, стоячи або на ізолювальних підставці або на діелектричному килимі;

- застосовувати інструмент з ізолювальними рукавами (у викруток, крім того, повинен бути ізольований стрижень); за відсутності такого інструменту слід користуватися діелектричними рукавичками.

Під час виконання робіт без зняття напруги на струмопровідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно:

- Тримати ізолювальні частини засобів захисту за рукави до обмежувального кільця;

- Розміщувати ізолювальні частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмопровідними частинами двох фаз чи замикання на землю;

- Користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям.

У разі виявлення порушень лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту користування ними забороняється.

У процесі роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги та кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги) допускається наближення працівника до струмопровідних частин на відстань, яка визначається довжиною ізолювальної частини цих коштів.

Всі працівники, які знаходяться у приміщеннях з чинним електрообладнанням електростанцій і підстанцій (за винятком щитів керування релейних та їм подібних приміщень), в ЗРУ, ВРУ, в колодязях, тунелях і траншеях зобов'язані користуватися захисними касками.

4.2 Допомога при ураженні електричним струмом в електроустановках напругою до 1000 В

Перша медична допомога — це комплекс заходів, спрямованих на відновлення або збереження здоров'я потерпілих, здійснюваних немедичними працівниками (взаємодопомога) або самим потерпілим (самодопомога) [28]. Найважливіше положення надання першої допомоги — її тЕРМіновість. Чим швидше вона надана, тим більше сподівань на сприятливий наслідок.

Послідовність надання першої допомоги:

— усунути вплив на організм ушкоджуючих факторів, котрі загрожують здоров'ю та життю потерпілих, оцінити стан потерпілого;

— визначити характер та важкість травми, найбільшу загрозу для життя потерпілого і послідовність заходів щодо його рятування;

— виконати необхідні заходи з рятування потерпілих в послідовності терміновості (відновити прохідність дихальних шляхів, здійснити штучне дихання, провести зовнішній масаж серця);

— підтримати основні життєві функції потерпілого до прибуття медичного працівника;

— викликати швидку медичну допомогу або вжити заходів щодо транспортування потерпілого до найближчого лікувального закладу.

Для звільнення потерпілого від струмоведучих частин або провода напругою до 1000 В слід скористатись канатом, палицею, дошкою або; будь-яким сухим предметом, що не проводить електричного струму.

Якщо електричний струм проходить в землю через потерпілого і він судорожно стискає один провід, то простіше перервати струм, відокремивши потерпілого від землі (підсунувши під нього суху дошку, або відтягнувши за ноги від землі вірьовкою, або відтягнувши за одяг), дотримуючись при цьому запобіжних заходів. Можна також перерубати дроти сокирою з сухою ручкою або перекусити їх інструментом з ізольованими ручками. Перерубувати або

перекушувати проводи слід пофазово, тобто кожний провід окремо, при цьому рекомендується стояти на сухих дошках, на дерев'яній драбині.

Заходи долікарської допомоги залежать від стану, в якому знаходиться потерпілий після звільнення від електричного струму. Після звільнення потерпілого від дії електричного струму необхідно оцінити його стан. У всіх випадках ураження електричним струмом необхідно обов'язково викликати лікаря незалежно від стану потерпілого.

Якщо потерпілий при свідомості та стійке дихання і є пульсом, але до цього втрачав свідомість, його слід покласти на підстилку з одягу, розстебнути одяг, котрий затруднює дихання, забезпечити приплив свіжого повітря, розтерти і зігріти тіло та забезпечити повний спокій, дати понюхати нашатирний спирт, сполоснути обличчя холодною водою. Якщо потерпілий, котрий знаходиться без свідомості, прийде до тями, слід дати йому випити 15—20 краплин настоянки валеріани і гарячого чаю.

Ні в якому разі не можна дозволяти потерпілому рухатися, а тим більше продовжувати роботу, оскільки відсутність важких симптомів після ураження не виключає можливості подальшого погіршення стану. Лише лікар може робити висновок про стан здоров'я потерпілого. Якщо потерпший дихає рідко і судорожно, але у нього не намацується пульсу необхідно відразу зробити йому штучне дихання.

За відсутності дихання та пульсу у потерпілого внаслідок різкого погіршення кровообігу мозку розширюються зіниці, зростає синюшність шкіри та слизових оболонок. У таких випадках допомога повинна бути спрямована на відновлення життєвих функцій шляхом проведення штучного дихання та зовнішнього (непрямого) масажу серця.

Потерпілого слід переносити в інше місце лише в тих випадках, коли йому та особі, що надає допомогу, продовжує загрожувати небезпека або коли надання допомоги на місці не можливе. Для того, щоб не втрачати час, не слід роздягати потерпілого. Не обов'язково, щоб при проведенні штучного дихання потерпілий знаходився в горизонтальному положенні. Якщо потерпілий

знаходиться на висоті, необхідно перед спуском на землю зробити штучне дихання безпосередньо в люльці, на щоглі і на опорі.

Опустивши потерпілого на землю, необхідно відразу розпочати проведення штучного дихання та масажу серця і робити це до появи самостійного дихання і відновлення діяльності серця або передачі потерпілого медичному персоналу.

4.3 Захист від іонізуючих випромінювань

Засоби та заходи захисту від іонізуючих випромінювань поділяють на організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні та лікувально-профілактичні [29].

Організаційні заходи передбачають забезпечення виконання вимог норм радіаційної безпеки. Наприклад, приміщення, які призначені для роботи з радіоактивними речовинами, повинні бути ізольовані від інших і мати спеціальну обробку стін, стелі, підлоги. Відкриті джерела випромінювання і всі предмети, які опромінюються повинні знаходитися у виділеній зоні, 74 перебування персоналу в якій обмежено. На контейнери, устаткування, двері приміщень наносять попереджувальний знак радіаційної безпеки.

До технічних заходів та засобів відносять використання автоматизованого устаткування з дистанційним керуванням, витяжних шаф, захисних екранів, камер боксів, що оснащені спеціальними маніпуляторами, які копіюють рухи рук людини.

Захисні екрани виготовляють з урахуванням виду та властивостей випромінювань. Так, захист від гамма-випромінювання здійснюють за допомогою екранів із важких металів (свинець, залізо), бета-випромінювання – із легких металів (алюміній), скла, плексигласу чи комбінованих (перший від джерела – шар легкого, а потім шар важкого металу), нейтронного випромінювання – із матеріалів, які мають у своєму складі водень (вода, парафін), а також із графіту, берилію та інших.

При роботі з джерелами випромінювання використовують засоби

індивідуального захисту: халати та шапочки з бавовняної тканини, захисні фартухи, гумові рукавички, щитки, респіратори, комбінезони, пневмокостюми, гумові чоботи.

Санітарно-гігієнічні заходи передбачають: забезпечення чистоти приміщень, включаючи щоденне вологе прибирання; використання приливновитяжної вентиляції, дотримання норм особистої гігієни.

До лікувально-профілактичних заходів відносять: попередній та періодичний медичні огляди осіб, які працюють з радіоактивними речовинами; встановлення раціональних режимів праці та відпочинку; використання радіопротекторів – хімічних речовин, що підвищують стійкість організму до опромінення. Як радіопротектори використовують різноманітні речовини штучного та природного походження: поліаміди, лимонна та щавельна кислота, сірчанокислий барій, сорбенти на основі фероціанідів та ін. Суттєве значення відіграють продукти харчування, які містять значну кількість пектинів і мають радіозахисні властивості. До таких продуктів відносяться шипшина, чорна смородина, яблука, аґрус, сік журавлини та ін.

Як правило, ефективний захист від іонізуючого випромінювання досягається при одночасному комплексному використанні зазначених організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів та засобів. При їх виборі враховуються особливості джерел випромінювання. Так, основними заходами, направленими на захист від альфата бета-випромінювань, є заходи, що націлені на недопущення накопичення альфа- і бета-активних ізотопів в організмі людини та забруднення шкіри: використання спеціального одягу та взуття, протипилових респіраторів, обезпилення повітря, вологе прибирання помешкань, недопущення вживання радіоактивно забруднених харчових продуктів, води та інші. При роботі з джерелами гама- та рентгенівського випромінювання захист персоналу досягається шляхом зниження активності джерел випромінювання, обмеження часу роботи з ними, збільшення відстані до джерел, екранування джерела іонізуючого випромінювання або зони знаходження людини.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Обраний об’єкт електропостачання, а саме дитячій табір «Промінь» складається з 9 діючих житлових будинків для проживання дітей, головного корпусу та складських будиночків, які мають централізоване електропостачання. Проте через віялові відключення та з метою підвищення надійності електроживлення прийнято рішення модернізувати діючу систему електропостачання шляхом встановлення фотоелектричної станції та мікромережі постійного струму напругою 48 В.

2. Результати проектування показали, що фотоелектрична мікромережа постійного струму в житлових будинках дитячого табору є найкращим рішенням з точки зору безпеки для дітей, надійності електропостачання і вартості.

3. Шляхом імітаційного моделювання, встановлено, що такі фактори, як коливання потужності сонячного випромінювання, нерівномірне використання енергії в таборі можуть бути збалансовані шляхом розподілу надлишкової енергії між мікроенергетичними системами кожного будинку в таборі через спільну шину постійного струму.

4. Модернізована система електропостачання є кращою, ніж окрема фотоелектрична система для кожного будинку, оскільки остання потребує встановлення набагато більше енергетичного обладнання, що призведе до більших витрат на встановлення, експлуатацію та обслуговування.

5. Проведено розрахунок системи електропостачання на основі фотоелектричних панелей головного корпусу табору із середнім навантаженням 1,26 кВт та споживанням енергії 3,4 кВт·год. В цьому випадку також використано шину постійного струму 48 В і шину змінного струму 220 В. Згідно отриманих результаті, враховуючи чисту приведену вартість (NPC) всіх можливих варіантів проектування системи, конфігурація з фотоелектричними модулями, перетворювачем та акумулятором є найкращим варіантом.

6. Проведено динамічне імітаційне моделювання мікромережі для житлових будинків дитячого табору в режимі автономної роботи. Результати моделювання показали, що при підключенні будинків до спільної шини, надлишкова енергія подається в мікромережу і використовується іншими будинками. Тобто система балансується. Також встановлено, що для дитячого табору такого розміру мікромережа постійного струму з спільним використанням енергії є найкращим варіантом. Вибір напруги живлення постійного струму 48 В є безпечним для дітей, надійним у використанні і дешевшим рішенням оскільки не потребує використання інверторів.

7. Виконано динамічне імітаційне моделювання гібридної фотоелектричної системи з резервним акумулятором і генератором для головного корпусу табору в режимі автономної роботи під час ймовірного блекауту при різному стані навантаження та заряду акумулятора. В результаті встановлено, що система з фотоелектричних модулів, акумуляторної батареї та аварійного резервного генератора є найкращим, економічно вигідним і надійним варіантом електропостачання в зазначених умовах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Перспективи розвитку електроенергетики і роль відновлювальних джерел енергії// Невідомський М.В.; Копит М.Б.; Якимчук П.М.; Горлачук М.А.; Войтович І.А./Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11–12 груд. 2024.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: 2024. Т. 2. – 17-18
2. Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 51 с.
3. Коваль В. П. Суміщене електропостачання від поновлювальних джерел енергії / Вадим Коваль // Матеріали IV Міжнародної науково технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп’ютерних технологій— присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця, 20-21 червня 2019 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2019. — С. 294.
4. Коваль В.П. Фотоелектрична станція для забезпечення власних потреб // В.П. Коваль, Д.Ф.Паловці, Abul Kalam Azad / Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції, (Тернопіль, 29-31 травня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. – С .
5. Коваль В.П. Вплив ємності акумулятора на ефективність роботи фотоелектричної станції//В.П.Коваль / Інноваційні технології в світлотехніці та електроенергетиці : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 16–17 трав. 2024 р. / Нац. акад. наук вищ. освіти України, Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Нац. наук. центр «Ін-т

метрології» [та ін.]. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – С. 75-77.

6. Board, M. S. (2008). Designing sustainable off-grid rural electrification projects: principles and practices. World Bank: Washington, DC, USA.
7. Філюк Я. О. Автономне живлення зовнішнього освітлення з використанням світлодіодних джерел світла / Ярослав Філюк, Вадим Коваль // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», 19–21 травня 2015 року — Т. : ТНТУ, 2015 — С. 191-192.
8. Коваль В. П. Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей / В. П. Коваль, Р. Р. Івасечко, К. М. Козак // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2015. – № 3. – С. 2-10
9. Bohdan Orobchuk, Ivan Sysak, Oleh Buniak, Serhii Babiuk, Vadym Koval (2023) Development of the reactive power compensation laboratory bench and its integration into the training simulator of dispatch control system. The 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2023 (ITTAP 2023). Ternopil, Ukraine, November 22-24, 2023, Vol. 3628, Pages 574-585.
10. Герега С. Збільшення ефективності використання сонячних панелей / Степан Герега, Вадим Коваль, Ярослав Філюк // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування“, 8-9 червня 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 202.
11. Opiyo, N. N. (2018). Different storage-focused PV-based mini-grid architectures for rural developing communities. Smart Grid and Renewable Energy, 9(5), 75-99.
12. Vadym Koval, Bogdan Orobchuk, Nataliia Kuzemko, Gao Lijin. Measuring device for photovoltaic modules electrical characteristics testing // Proceedings of the International Conference „Advanced applied energy and information technologies 2021‖, 2021

13. Bohdan Orobchuk, Oleh Buniak, Ivan Sysak, Serhii Babiuk, Ihor Bodnarchuk, Vadym Koval (2024) Development of Software for the Implementation of Automated Reserve Input Modes Operation. 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). Ternopil, Ukraine, June 12-14, Vol. 3742, Pages 316-336
14. Коваль В. Залежність енергоефективності сонячних елементів від експлуатаційних факторів / В. Коваль // Збірник тез доповідей XVII наукової конференції ТНТУ ім. Івана Пулюя, 20-21 листопада 2013 року. — Т. : ТНТУ, 2013. — Том І : Природничі науки та інформаційні технології. — С. 53
1. Коваль В. П. Енергоефективність системи позиціонування фотоелектричних батарей / В. П. Коваль, Р. Р. Івасечко, Ю. О. Пилипчук // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 16-17 листопада 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — Том 3. — С. 139.
15. Герега С. Збільшення ефективності використання сонячних панелей / Степан Герега, Вадим Коваль, Ярослав Філюк // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування—, 8-9 червня 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 202
16. Іме А.Н. Підвищення ефективності сонячних панелей шляхом використання водяного охолодження/Аях Нсікак Іме, В.П. Коваль//Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій —, 25-26 листопада 2020 року.—Т.: ТНТУ, 2020.—Том 2.— С. 80–81
17. Measuring device for photovoltaic modules electrical characteristics testing / Vadym Koval, Bogdan Orobchuk, Nataliia Kuzemko, Gao Lijin // ICAAEIT 2021, 15-17 December 2021. — Tern.: TNTU, Zhytomyr «Publishing house „Book-Druk“» LLC, 2021. — P. 14–19. — (Electrical engineering and power

electronics)

18. Коваль В.П. Автоматизована вимірювальна установка для дослідження електричних характеристик фотоелектричних модулів / В.П. Коваль, Б.Я. Оробчук, Я.М. Осадца, Л.М. Костик // Вісник Хмельницького національного університету – 2022. - №5. – С.168–173
19. Енергоощадна інтелектуальна система керування механічною системою / Богдан Оробчук, Іван Сисак, Ярослав Осадца, Вадим Коваль, Сергій Бабюк // МММТЕС, 22-23 листопада 2022 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2022. — С. 128–130. — (Прикладні застосування механіки в задачах енергозбереження)
20. Керея Ю.Б. Роль системи накопичення енергії у електроенергетичній системі //Ю.Б.Керея, В.П.Коваль /Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 груд. 2022.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 68.
21. Стельмах С.С. Енергоефективність гідроакумулюючих установок малої потужності // С.С.Стельмах, В.П.Коваль /Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 груд. 2022.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 71.
22. Vadym Koval, Serhii Martsenko, Myroslav Zin (2023). Designing and Implementing Intelligent Lighting Control System. The 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). Ternopil, Ukraine, June 14-16, Vol. 3468, Pages 241-249.
2. Понтус О.В. Особливості проектування та введення в експлуатацію промислової сонячної електростанції // О.В. Понтус, Р.А. Карпишин, В.П.Коваль / Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції,

(Тернопіль, 29-31 травня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. – С 19-21.

23.14 Desai, A., Mukhopadhyay, I., & Ray, A. (2020, June). Exploring technical and economic feasibility of a stand-alone solar PV based DC distribution system over AC for use in houses. In 2020 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC) (pp. 2387-2391). IEEE.

24. Khalil, L., Bhatti, K. L., Awan, M. A. I., Riaz, M., Khalil, K., & Alwaz, N. (2021). Optimization and designing of hybrid power system using HOMER pro. *Materials Today: Proceedings*, *47*, S110-S115.

25. Oulis Rousis, A., Tzelepis, D., Konstantelos, I., Booth, C., & Strbac, G. (2018). Design of a hybrid AC/DC microgrid using Homer Pro: Case study on an islanded residential application. *Inventions*, *3*(3), 55.

26. Deshmukh, M. K., & Singh, A. B. (2019). Modeling of energy performance of stand-alone SPV system using HOMER pro. *Energy Procedia*, *156*, 90-94.

27. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник/ В.Ц.Жидецький, В.С Джигирей, О.В.Мельников. – Вид. 5-те, доповнене. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.

28. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.