

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **РОЗРОБКА ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ
ДЛЯ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СПОЖИВАЧІВ БУДИНКУ
НА ПЕРІОД БЛЕКАУТІВ**

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

(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Фарина О.Р.
(прізвище та ініціали)

Керівник _____
(підпис) Козак К.М.
(прізвище та ініціали)

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

Завідувач кафедри _____
(підпис) Тарасенко М.Г.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

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

Факультет Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Тарасенко М.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Фарині Олегу Руслановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка фотоелектричної системи для електроживлення споживачів будинку на період блекаутів

Керівник роботи к.т.н., доц. Козак К.М.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «10» листопада 2023 року № 4/7-1042.

2. Термін подання студентом завершеної роботи до 25.12.2023

3. Вихідні дані до роботи Фотоелектричної системи для електроживлення споживачів повинна бути простою і надійною. Провести моделювання її роботи при стрибкоподібній зміні активного та реактивного навантаження

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

1. Принцип роботи сонячної фотоелектричної системи

2. Модель фотоелектричного елемента.

3. Вихідні характеристики фотоелектричної системи

4. Вибір і обґрунтування складових фотоелектричної системи

5. Модель сонячної фотоелектричної системи в MATLAB

6. Моделювання фотоелектричної системи зі змінним навантаженням

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

1. Структура фотоелектричної системи електропостачання

2. Еквівалентна схема сонячного елемента з одним діодом

3. I-V та P-V характеристики фотоелектричного перетворювача

4. Складові фотоелектричної системи

5. Послідовно-паралельне з'єднання фотоелектричних панелей

6. Модель фотоелектричної системи у SIMULINK

7. Вихідна напруга та струм навантаження при моделюванні фотоелектричної системи зі змінним навантаженням

8. Зовнішній вигляд компонентів фотоелектричної системи

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____ 10.11.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд за напрямком кваліфікаційної роботи	з 10.11.2023 по 14.11.2023	
2	Підготовка основної частини пояснювальної записки кваліфікаційної роботи	з 15.11.2023 по 10.12.2023	
3	Підготовка розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	з 11.12.2023 по 13.12.2023	
4	Складання переліку використаних літературних джерел	з 13.12.2023 по 14.12.2023	
5	Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату	з 15.12.2023 по 17.12.2023	
6	Підготовка, оформлення та друк графічного матеріалу кваліфікаційної роботи	з 18.12.2023 по 20.12.2023	
7	Отримання відгуку та рецензії на кваліфікаційну роботу, підготовка доповіді на захист	з 21.12.2023 по 25.12.2023	

Студент _____
(підпис)

Фарина О.Р.
_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Козак К.М.
_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка має 69 сторінок, 23 аркушів презентації, 41 ілюстрація, 3 таблиці та 18 використаних першоджерел.

Метою кваліфікаційної роботи є: розробити структуру та компоновання фотоелектричної системи та провести її імітаційне моделювання.

Об'єкт дослідження – процес накопичення та споживання електроенергії

Предмет дослідження – фотоелектрична система для живлення малопотужних споживачів .

У роботі проведено аналіз структури та компоновання фотоелектричної системи та встановлено їх основні типи та можливості застосування. Обґрунтовано вихідні характеристики фотоелектричної системи та вплив на них зовнішніх факторів. Виконано обґрунтування та вибір типу акумуляторів, розраховано їх кількість та ємність. Описано вимоги до експлуатації акумуляторних систем накопичення електроенергії. Зазначено особливості їх послідовного та паралельного з'єднання. Проведено аналіз принципу роботи та характеристик інвертора, як одного із головних складових фотоелектричної системи. Виконано імітаційне моделювання фотоелектричної системи зі змінним резистивним навантаженням та з індуктивним навантаженням. Отримано осцилограми перехідних процесів при вмиканні цих навантажень.

Ключові слова: ФОТОЕЛЕКТРИЧНА СИСТЕМА, ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ, СПОЖИВАЧІ, БЛЕКАУТ

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Дефіцит електричної енергії у світі.....	9
1.2 Особливості відновлюваних джерел енергії	9
1.3 Сонячна енергія як один з найважливіших видів відновлюваної енергії	10
1.4 Фотоелектрика.....	11
1.4.1 Історія фотоелектрики	11
1.4.2 Компоненти фотоелектричних систем.....	12
1.4.3 Принцип роботи сонячної фотоелектричної системи	14
1.4.4 Класифікація фотоелектричних систем	15
1.4.5 Фотоелектричні фотомодулі	16
1.4.6 Переваги фотоелектричної системи.....	16
1.4.7 Недоліки сонячних фотоелектричних систем.....	17
1.5 Висновки до розділу	18
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	20
2.1 Особливості фотоелектричної системи	20
2.2 Модель фотоелектричного елемента	21
2.3 Вихідні характеристики фотоелектричної системи	22
2.3.1 I-V і P-V характеристики.....	23
2.3.2 Вплив опромінення	25
2.3.3 Вплив температури	27
2.4 Вибір типу акумулятора та їх класифікація	28
2.4.1 Свинцево-кислотні акумулятори.....	28
2.4.2 Літій-іонні акумулятори.....	30
2.4.3 Нікель-кадмієві батареї.....	31

2.5 Фактори, що впливають на термін служби акумуляторних батарей.....	32
2.6 Послідовне та паралельне з'єднання батарей.....	33
2.7 Контролер заряду сонячної батареї.....	35
2.8 Вибір кількості та ємності батареї	36
2.9 Вибір інвертора	38
2.9.1 Призначення інвертора.....	38
2.9.2 Принцип роботи однофазних інверторів.....	39
2.9.3 Регулювання напруги однофазних інверторів	41
2.10 Висновки до розділу	42
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	43
3.1 Роль MATLAB/SIMULINK у проектуванні систем відновлюваної енергетики.....	44
3.2 Модель сонячної фотоелектричної системи в MATLAB.....	44
3.3 Алгоритм MPPT з використанням MATLAB/SIMULINK.....	46
3.4 Фотоелектричний модуль який працює з контролером із технологією MPPT	47
3.5 Результати моделювання.....	47
3.6 Характеристика розряду акумулятора при номінальному струмі.....	49
3.7 Моделювання DC/DC перетворювача Buck-Boos	50
3.8 Модель інвертора в MATLAB Simulink	51
3.8.1 Блок формування синусоїди	51
3.8.2 Контролер інвертора.....	52
3.9 Підключення компонентів фотоелектричної системи до навантаження	54
3.9.1 Моделювання фотоелектричної системи зі змінним резистивним навантаженням.....	54
3.9.2 Моделювання фотоелектричної системи з індуктивним навантаженням.....	58

3.10 Монтаж компонентів фотоелектричної системи	60
3.11 Висновки до розділу	61
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	63
4.1 Основні вимоги безпеки до улаштування та експлуатації технологічного обладнання.....	63
4.2 Сигнально-попереджувальні пристрої і фарбування обладнання	64
4.3 Особливості проведення рятувальних та інших невідкладних робіт при ліквідації наслідків великих виробничих аварій і катастроф.....	65
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	67
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	68

ВСТУП

Актуальність теми. Наразі ринок сонячної фотоелектричної генерації електроенергії є одним з найбільш швидкозростаючих серед усіх секторів відновлюваної енергетики. Відносно низька собівартість виробництва сонячної електроенергії за допомогою фотоелектричних панелей (ФЕП) та потенціал для подальшого зниження витрат зумовили зростання кількості ФЕУ в останні роки. Сонячна фотоелектрична генерація електроенергії необхідна для досягнення глибокої декарбонізації з високим ступенем електрифікації. Очікується, що для виконання Паризької угоди енергетичний сектор повинен обмежити викиди CO₂ на 80 % до 2040 року. Відповідно, сонячна фотоелектрична генерація електроенергії повинна буде забезпечити 3518 ТВт·год у 2030 році та 7208 ТВт·год у 2040 році.

Відновлювані джерела енергії не лише зменшують негативний вплив на навколишнє середовище, а й знижують залежність від імпорту енергоносіїв. Відповідно, різні країни використовують різні системи стимулювання для заохочення використання відновлюваних джерел енергії для виробництва електроенергії. До 2050 року Європейський Союз (ЄС) має на меті стати кліматично нейтральним, що передбачає реалізацію п'яти напрямків: від енергетичної безпеки та інтегрованого внутрішнього енергетичного ринку до енергоефективності, кліматичних дій, досліджень та інновацій. У сфері фінансування досліджень і розробок у галузі фотовольтаїки також існують важливі відмінності між країнами. Розглядаючи національне фінансування досліджень і розробок у сфері фотоелектричної енергетики в ЄС, можна стверджувати, що актуальність впровадження їх для живлення споживачів не залишає сумнівів.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є: розробити структуру та компонування фотоелектричної системи та провести її імітаційне моделювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз структури та компонування фотоелектричної системи.
2. Обґрунтувати вихідні характеристики фотоелектричної системи.
3. Виконати вибір основних складових фотоелектричної системи.
4. Виконати імітаційне моделювання фотоелектричної системи зі змінним резистивним навантаженням та з індуктивним навантаженням.
5. Встановити чи можна використовувати запропоновану фотоелектричну систему для живлення споживачів у період блекаутів.

Об'єкт дослідження – процес накопичення та споживання електроенергії.

Предмет дослідження – фотоелектрична система для живлення малопотужних споживачів.

Наукова новизна отриманих результатів.

Дістав подальший розвиток підхід до визначення стійкості системи фотоелектричного електропостачання до стрибкоподібної зміни активного та реактивного навантаження.

Практичне значення отриманих результатів.

Розроблену систему фотоелектричного електропостачання можна використовувати у період блекаутів оскільки вона укомплектована незалежним джерелом живлення (фотоелектричними батареями) та акумулятором.

Апробація. Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на X Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 6-7 грудня 2023 року. ТНТУ [1]

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (18 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 69 сторінок, 3 таблиці, 41 рисунок.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Дефіцит електричної енергії у світі

В середині вісімнадцятого століття промислова революція призвела до збільшення потреби в енергії: У наші дні світ споживає майже 175 мільйонів барелів нафти на день. У наш час викопне паливо є найбільш поширеним джерелом енергії, де на нафту припадає 40 % комерційних енергетичних послуг, вугілля – 27 %, природний газ – 22 %, а на гідроенергію та ядерну енергію – 6 %. А в умовах дефіциту викопного палива, вугілля, нафти світ почав переходити на відновлювані джерела енергії, такі як сонячна та вітрова енергія, а також "чисті енергії".

За даними Департаменту електроенергетики, 53 % електроенергії в США виробляється електростанціями, які працюють на вугіллі. І 18 % виробляється на нечистих електростанціях (які забруднюють навколишнє середовище). Електростанції, що працюють на природному газі, виробляють 14 %, а діючі греблі (гідроенергетика) виробляють майже 10 %, тоді як відновлювані джерела енергії, крім гідроенергетики, такі як сонячна енергія, енергія вітру та природні матеріали (наприклад, деревина), виробляють 2 % електроенергії в США.

1.2 Особливості відновлюваних джерел енергії

Відновлювана енергія зазвичай визначається як енергія, що походить з ресурсів, які природним чином поповнюються в масштабах людського часу, таких як [2]

- 1 - Сонячна енергія.
- 2 - Енергія вітру.
- 3 - Енергетична біомаса.
- 4 - Енергетичний вододіл.
- 5 - Геотермальна енергія.

6 - Кінетична енергія хвиль і припливів.

7 - Енергія різниці температур в глибинах океанів і морів.

Характеристики та особливості відновлюваної енергії:

1 - Доступні в більшості країн світу.

2 - Чисті і не забруднюють навколишнє середовище, підтримують здоров'я населення.

3 - Економічні у багатьох сферах застосування.

4 - Забезпечує постійну доступність та вигідну ціну та регулярність.

5 - Не виникає шуму та не залишає шкідливих залишків, що спричиняють забруднення навколишнього середовища.

1.3 Сонячна енергія як один з найважливіших видів відновлюваної енергії

Сонце, наша найближча і найбільша зірка, є для нас найбільшим джерелом енергії. Сонячна енергія, або енергія сонця, використовується з того часу, як людина існує на землі. Сонячна енергія є нагальною потребою, і ми потребуємо її природним чином для того, щоб наше життя працювало належним чином [3,4]. Крім того, ми можемо використовувати сонячну енергію різними способами, щоб виконувати свою роботу належним чином.

Коли певні напівпровідникові матеріали, такі як певні види кремнію, потрапляють під вплив сонячного світла, вони виділяють невелику кількість електроенергії. Цей процес відомий як фотоефект. Фотоефект - це емісія, або випромінювання, електронів з поверхні металу у відповідь на дію світла. Це основний фізичний процес, в якому сонячний електричний або фотоелектричний (ФЕ) елемент перетворює сонячне світло в електроенергію. Сонячне світло складається з фотонів, або частинок сонячної енергії. Фотони містять різну кількість енергії, що відповідає різним довжинам хвиль сонячного спектру.

Коли фотони потрапляють на фотоелемент, вони можуть відбиватися або поглинатися, або ж проходити наскрізь. Тільки поглинені фотони генерують електроенергію. Коли це відбувається, енергія фотона передається електрону в атомі фотоелемента (який фактично є напівпровідником). Завдяки новій енергії електрон виходить зі свого звичайного положення в атомі напівпровідникового матеріалу і стає частиною струму в електричному колі. Залишаючи свою позицію, електрон спричиняє утворення дірки. Особливі електричні властивості фотоелемента - вбудоване електричне поле - забезпечують напругу, необхідну для проходження струму через зовнішнє навантаження (рис.1.1).

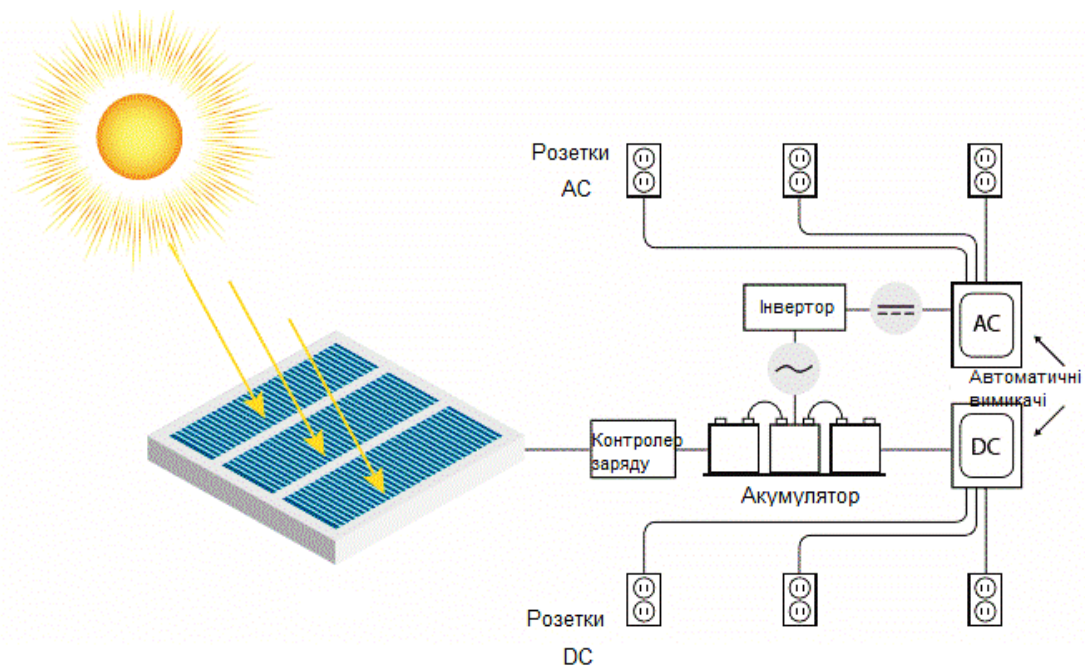


Рисунок 1.1 – Найпростіша структура фотоелектричної системи електропостачання

1.4 Фотоелектрика

1.4.1 Історія фотоелектрики

Сонячна батарея або фотоелектричний елемент (ФЕ) [5] - це пристрій, який перетворює світло в електричний струм за допомогою фотоэффекту. Він заснований на відкритті Aleixandre-Edmond Becquerel, який помітив, що деякі матеріали вивільняють електрони, коли на них потрапляють промені фотонів зі

світла, і виробляє електричний струм. Перший сонячний елемент сконструював Чарльз Фріттс у 1880-х роках. Хоча прототип селенового елемента перетворював менше 1% падаючого світла в електроенергію, Ернст Вернер фон Сіменс і Джеймс Клерк Максвелл усвідомили важливість цього відкриття.

Наслідуючи роботу Рассела О.Х. у 1940-х роках, дослідники Джеральд Пірсон, Келвін Фуллер та Деріл Чапін створили кремнієвий сонячний елемент у 1954 році. Ці перші сонячні елементи коштували 286 доларів США/Вт і досягали ефективності від 4,5 до 6%. Станом на кінець 2009 року фотоелементи з найвищим коефіцієнтом корисної дії (ККД) були вироблені компанією Boeing /Spectro Lab і становили близько 41 %. Інші подібні багат шарові фотоелементи близькі до цього показника, але вони дуже дорогі і використовуються лише для найвимогливіших застосувань.

Найпершим значним застосуванням сонячних елементів було використання їх як резервного джерела живлення для супутника Vanguard I у 1958 році, що дозволило йому продовжувати передачу більше року після того, як його хімічна батарея вичерпала свій ресурс. Успішна робота сонячних батарей на цій місії була повторена на багатьох інших радянських і американських супутниках, і до кінця 1960-х років фотоелектричні елементи стали для них основним джерелом енергії. З середини 1990-х років лідерство в фотоелектричному секторі перейшло від США до Японії та Європи. У 1992-1994 роках Японія збільшила фінансування досліджень і розробок, встановила правила обліку чистої енергії та запровадила програму субсидій, щоб покласти край масовому встановленню фотоелектричних систем у житлових будинках. В результаті, фотоелектричні установки в країні зросли з 31,2 МВт у 1994 році до 318 МВт у 1999 році.

1.4.2 Компоненти фотоелектричних систем

Компоненти фотоелектричних систем наступні:

1. Фотоелектричний сонячний елемент. Основний фотоелектричний пристрій, який є будівельним блоком для фотоелектричних модулів.
2. Модуль (панель). Група фотоелементів, з'єднаних послідовно і / або паралельно і інкапсульованих в екологічно захисний ламінат.
3. Масив (каскад). Група панелей, з яких складається повна фотоелектрична установка постійного струму.
4. Акумуляторна батарея (рис. 1.2). Акумулятори накопичують надлишкову енергію, вироблену фотоелектричною системою, і зберігають її для використання вночі або коли немає іншого входу. Ємність акумулятора для зберігання енергії вимірюється в ампер·годинах: 1 ампер, що видається протягом 1 години = 1 ампер·година.

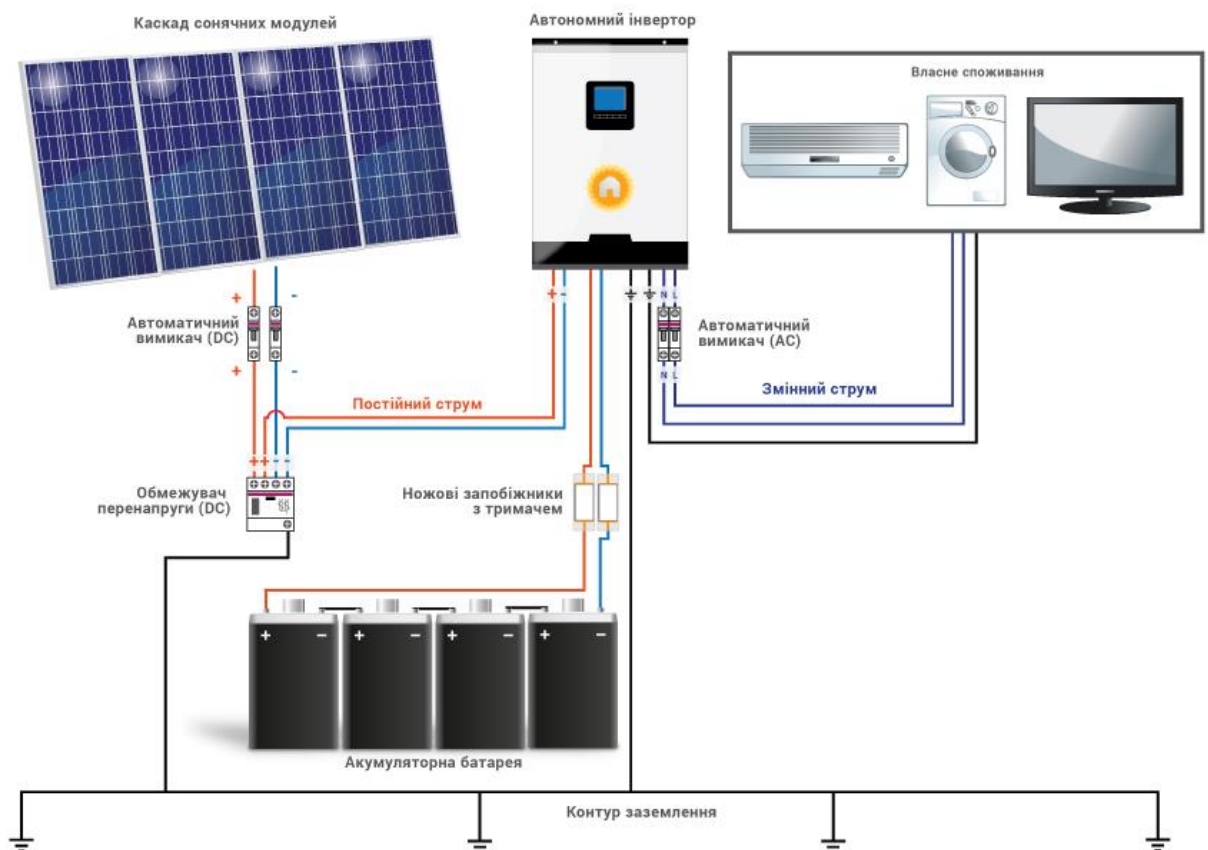


Рисунок 1.2 - Структура фотоелектричної системи

5. Контролер заряду акумулятора. Основна функція контролера - запобігати перезарядженню акумулятора. Якщо батареї регулярно

перезаряджати, термін їхньої служби значно скоротиться або вони вибухнуть. Контролер визначатиме напругу акумулятора і зменшуватиме або припинятиме зарядний струм, коли напруга стане достатньо високою. Це особливо важливо для герметичних акумуляторів, де ми не можемо замінити воду, втрачену під час перезарядки. Також контролер захистить батарею від глибокого розряду, відключивши навантаження.

6. Інвертор. Інвертор перетворює постійний струм, вироблений фотоелектричними модулями та акумулятором, в змінний струм для використання в домашніх умовах, синхронізуючись з електромережею, коли вона розподіляє електроенергію. Інвертори доступні в широкому діапазоні потужностей. Коефіцієнт корисної дії в середньому становить близько 95 % для більшості моделей.

1.4.3 Принцип роботи сонячної фотоелектричної системи

Фотоелектричне перетворення в фотоелектричному переході (рис.1.3). Фотоелектричний перехід (діод) - це межа між двома по-різному легованими напівпровідниковими шарами; один з них є шаром типу P (надлишок дірок), а другий - N-типу (надлишок електронів). На межі між P- і N-областями виникає спонтанне електричне поле, яке впливає на генеровані електрони і дірки і визначає напрямок струму [6].

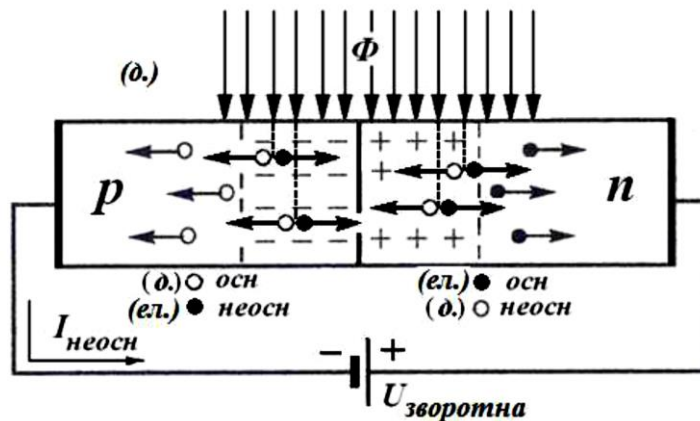


Рисунок 1.3 – Принцип роботи напівпровідникового фотоелементу

1.4.4 Класифікація фотоелектричних систем

Фотоелектричні системи поділяються на:

1) автономні:

Ці системи ізольовані від електромережі. На рис. 1.4. описана найпоширеніша конфігурація системи. Система, описана на рис. 1.4, насправді є однією з найскладніших; і включає всі елементи, необхідні для обслуговування електроприладів змінного струму в звичайному домогосподарстві або комерційному використанні.

2) підключенні до електромережі:

Ці системи безпосередньо підключаються до електромережі і не потребують акумуляторних батарей. Можливі гібридні системи, в яких акумуляторна батарея або генератор (або і те, і інше) можуть бути поєднані з підключенням до мережі для додаткової надійності та гнучкості планування (за додаткову плату). Більшість встановлених житлових, комерційних і центральних систем використовують готові плоскі сонячні модулі, оскільки вони широко доступні.

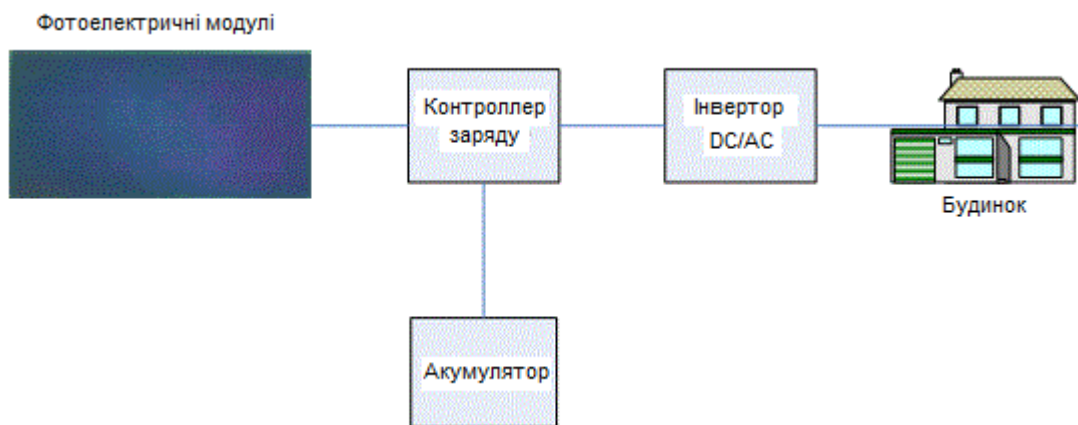


Рисунок 1.4 – Автономна фотоелектрична система

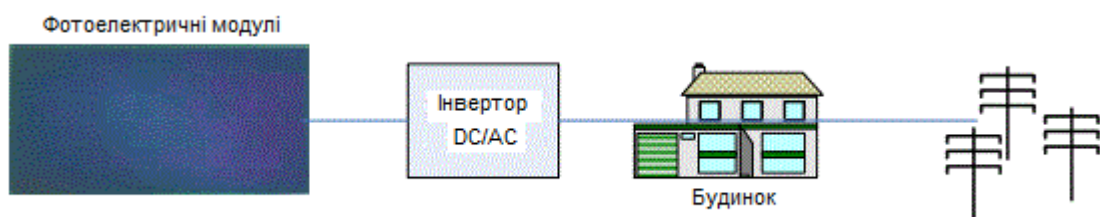


Рисунок 1.5 – Фотоелектрична система, підключена до електромережі

1.4.5 Фотоелектричні фотомодулі

Існує три домінуючі технології фотоелементів:

- Монокристалічні. Як випливає з назви, це елементи, які вирощуються з одного кристала. Методи виробництва складні і дорогі. Вони, як правило, більш ефективні (більша потужність на меншій площі) і дорожчі [7].

- Полікристалічні: Процес виробництва дозволяє розвиватися декільком кристалічним структурам всередині комірки. Його легше впровадити у виробничу лінію. Відносно дешевші, ніж монокристалічні, за рахунок нижчої ефективності.

- Тонкоплівковий. Використовує менше кремнію для розробки комірки (звідси і назва - тонкоплівковий), що дозволяє знизити виробничі витрати (кремній користується високим попитом). Він, як правило, дешевший, але має нижчу ефективність.

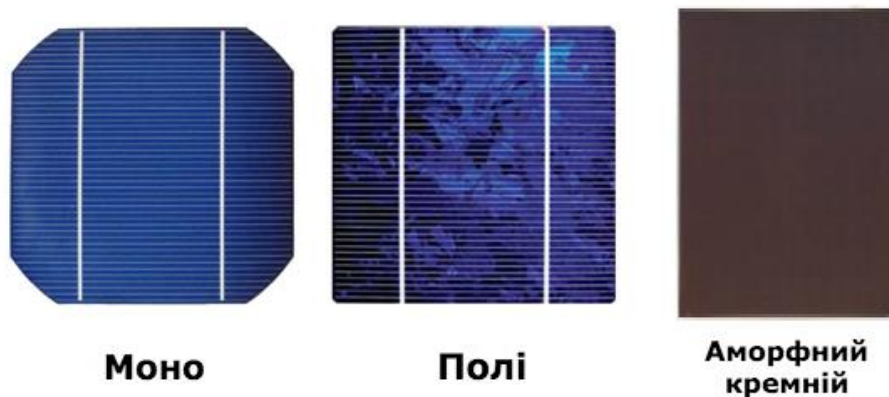


Рисунок 1.6 – Технології виготовлення фотоелементів

1.4.6 Переваги фотоелектричної системи

Переваги фотоелектричної системи наступні:

1. Фотоелектричні елементи дуже надійні і прості в обслуговуванні. Фотоелементи не мають рухомих частин, тому для підтримання системи в робочому стані достатньо візуальних перевірок та обслуговування.

2. Сонячні панелі сконструйовані таким чином, щоб витримувати удари граду, сильний вітер і цикли замерзання-відтавання. Фотоелектричні

системи можуть виробляти електроенергію за будь-якої погоди. У частково хмарні дні вони виробляють до 80% своєї потенційної енергії. Навіть у дуже хмарні дні вони все ще можуть виробляти близько 25% від своєї максимальної потужності.

3. Фотоелектричні елементи практично не впливають на навколишнє середовище. Фотоелементи не спалюють паливо і не мають рухомих частин. Вони чисті і безшумні, не виробляють викидів парникових газів, які є шкідливими для Землі.

4. Фотоелектричні елементи зміцнюють нашу економіку та зменшують торговельний дефіцит, а використання фотоелементів захищає нас від пульсування цін на паливо та політичної нестабільності.

5. Фотоелектричні елементи є модульними і гнучкими з точки зору розміру і застосування, фотоелементи можуть бути побудовані будь-якого розміру у відповідь на поточні потреби в енергії, і їх можна легко збільшити або перемістити.

6. Слугують як формою, так і функцією будівлі. Сучасні фотоелектричні модулі доступні в різних кольорах і стилях, що дозволяє дизайнерам використовувати їх як естетичні елементи, вбудовані прямо в дах, мансардні вікна, навіси, входи і фасади. Модулі можуть бути сконструйовані так, щоб пропускати природне світло. У поєднанні з модулями, що не пропускають світло, вони створюють приємне середовище всередині будівлі, одночасно сприяючи вентиляції та опаленню.

1.4.7 Недоліки сонячних фотоелектричних систем

Недоліки фотоелектричної системи наступні [8]:

1. Як і у всіх відновлюваних джерел енергії, сонячна енергія має проблеми з перебоями; не генерує вночі, а вдень може бути похмура або дощова погода.

2. Отже, нестабільність і непередбачуваність сонячної енергії робить сонячні панелі менш надійним рішенням.

3. Сонячні панелі потребують додаткового обладнання (інверторів) для перетворення постійної електроенергії (DC) в змінну електроенергію (AC) для використання в електромережі.

4. Для безперервного постачання електроенергії, особливо для підключення до електромережі, фотоелектричні панелі потребують не тільки інверторів, але й акумуляторних батарей, що значно збільшує інвестиційні витрати на фотоелектричні панелі.

5. У випадку наземних фотоелектричних панелей, вони потребують відносно великих площ для розміщення; як правило, земельна ділянка виділяється для цієї мети на 15-20 років, а то й довше.

6. Рівень ефективності сонячних панелей є відносно низьким (від 14% до 25%) порівняно з рівнем ефективності інших систем відновлюваної енергетики.

7. Хоча фотоелектричні панелі не потребують значних витрат на обслуговування або експлуатацію, вони є крихкими і можуть бути відносно легко пошкоджені; тому додаткові витрати на страхування є надзвичайно важливими для захисту інвестицій у фотоелектричну енергетику.

1.5 Висновки до розділу

1. Проведений аналіз стану і перспектив розвитку електроенергетики у світі.

2. Розкрито основні принципи генерування електроенергії фотоелектричними системами. Виявлено переваги та недоліки різних типів фотоелектричних модулів.

3. Проведено аналіз структури та компонування фотоелектричної системи та встановлено їх основні типи та можливості застосування.

4. В результаті аналізу літературних даних, сформульовано основні переваги та недоліки фотоелектричних систем для виробництва електроенергії та електропостачання об'єктів.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Особливості фотоелектричної системи

Фотоелектрична система перетворює сонячне світло в електричну. Основним елементом фотоелектричної системи є фотоелектричний елемент. Фотоелементи можуть бути згруповані в панелі або модулі. Панелі можуть бути згруповані у великі фотоелектричні масиви. Термін "масив" зазвичай використовується для опису фотоелектричної панелі (з декількома елементами, з'єднаними послідовно і/або паралельно) або групи панелей. Найчастіше нас цікавить моделювання фотоелектричних панелей, які є комерційними фотоелектричними пристроями.

Термін "масив", що використовується тут і далі, означає будь-який фотоелектричний пристрій, що складається з декількох базових елементів. Електроенергія, доступна на клеммах фотоелектричного масиву, може безпосередньо живити невеликі навантаження, такі як освітлювальні системи та двигуни постійного струму. Для деяких застосувань потрібні електронні перетворювачі для обробки електроенергії від фотоелектричного пристрою. Ці перетворювачі можуть використовуватися для регулювання напруги і струму на навантаженні, контролю потоку потужності в системах, підключених до мережі, і, головним чином, для відстеження точки максимальної потужності (MPPT) пристрою.

Фотоелектричні перетворювачі мають нелінійну вольт-амперну характеристику з декількома параметрами, які необхідно коригувати на основі експериментальних даних практичних пристроїв. Математична модель фотоелектричної батареї може бути корисною при вивченні динамічного аналізу перетворювачів, при вивченні алгоритмів відстеження точки максимальної потужності (MPPT) і, головним чином, для моделювання фотоелектричної системи та її компонентів за допомогою симуляторів схем.

2.2 Модель фотоелектричного елемента

Фотоелемент - це напівпровідниковий елемент з р-п-переходом, який перетворює сонячне світло в електричну енергію. Для моделювання сонячного елемента необхідно оцінити вплив різних факторів на сонячні панелі та врахувати характеристики, зазначені виробниками в технічному паспорті. Слід зазначити, що для формування фотоелектричного модуля набір фотоелементів з'єднується послідовно або паралельно. Для формування фотоелектричного масиву набір фотоелектричних модулів з'єднують послідовно та паралельно. Таким чином, математичні моделі для фотоелектричних масивів отримують, використовуючи базовий опис еквівалентної схеми фотоелементів.

Фотоелемент зазвичай представляється електричним еквівалентом одного діода, послідовного опору R_s і паралельного опору R_p , як показано на рис. 2.1.

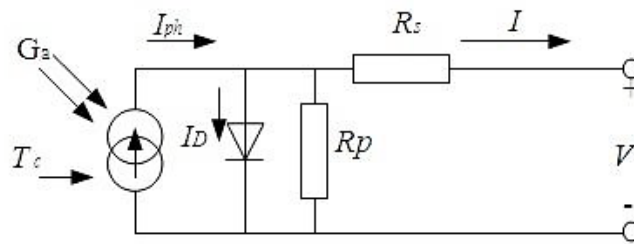


Рисунок 2.1 - Еквівалентна схема фотоелемента з одним діодом

З рис. 2.1 видно, що різні параметри фотоелементів характеризуються наступним чином:

I_{ph} – струм, що генерується сонячним елементом (А).

R_s – послідовний опір (Ом).

R_p – паралельний опір (Ом).

G_a – опромінення від сонячного світла ($\text{Вт}/\text{м}^2$).

T – температура сонячного елемента (К).

I_D – струм діода (А).

I – вихідний струм фотоелемента (А).

V – вихідна напруга фотоелемента (В).

Виробник сонячного модуля надає параметри, необхідні для моделювання сонячних елементів. Технічний паспорт, в якому наведені електричні характеристики, розрахований за стандартних умов випробувань STC при температурі T 25°C і освітленості G 1000 Вт/м². Параметри, які можна знайти в технічному паспорті, є наступними:

V_{op} – напруга холостого ходу (В).

I_{sc} – струм короткого замикання (А).

P_{mp} – потужність в точці максимальної потужності (Вт).

V_{mp} – напруга в точці максимальної потужності(В).

I_{mp} – струм в точці максимальної потужності(А).

Спочатку моделюється сонячний елемент, потім модель розширюється до фотоелектричного модуля і, нарешті, моделюється фотоелектричний масив. З рис.2.1 вихідний струм фотоелемента становить (2.1).

$$I = I_{ph} - I_D, \quad (2.1)$$

де I_{ph} - струм, що генерується сонячним елементом,

I_D - струм діода.

За рівнянням Шоклі, струм діода I_D має вигляд

$$I_D = I_o \left(e^{\frac{qV_d}{KT}} - 1 \right), \quad (2.2)$$

де I_o - зворотний струм насичення діода.

q - заряд елементарного електрона ($1,602 \times 10^{-19}$ Кл).

V_d - напруга на діоді.

K - постійна Больцмана $1,381 \times 10^{-23}$ (Дж/К).

T - температура в Кельвінах (К).

Залежність між напругою і струмом, отримана шляхом заміни діода

Струм

$$I = I_{ph} - I_o \left(e^{\frac{qV}{KT}} - 1 \right), \quad (2.3)$$

де V - вихідна напруга фотоелемента. Зворотний струм насичення I_o знаходять за допомогою наведеного вище рівняння. Встановивши струм I рівним нулю і розрахувавши при температурі T_1 :

$$I_o(T_1) = \frac{I_{ph}(T_1)}{e^{\frac{qV}{KT}} - 1}. \quad (2.4)$$

Струм, що генерується сонячними елементами I_{ph} , можна апроксимувати струмом короткого замикання I_{sc} [9]. Струм, що генерується, може бути розрахований для іншої освітленості. Для визначення струму за інших умов використовуються стандартні значення струму, температури та освітленості з технічного паспорту.

$$I_{sc} \cong I_{ph};$$

$$I_{sc}(T_1) = \left(\frac{G}{G_{ном}} \right) I_{sc}(T_{1.ном}), \quad (2.5)$$

де $I_{sc}(T_1)$ - струм при температурі T_1 ;

$T_{1.ном}$ - температура комірки з паспортних даних;

$G_{ном}$ - освітленість з паспортних даних.

Після розрахунку в [10] наведено рівняння ФЕП (2.6):

$$I_{ph} = I_o \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{\alpha KT}} \right) - \left(\frac{V + IR_s}{R_s} \right) \quad (2.6)$$

де α - добротність діода від 1 до 2, яку необхідно оцінити. Значення "а" дорівнює 1 для ідеального діода.

V - це напруга елемента.

Для фотоелектричного модуля напруга елемента множиться на загальну кількість елементів у серії.

Зворотний струм насичення I_0 залежить від температури T . Він розраховується за наступним рівнянням (2.7) [10].

$$I_o = I_o(T_1) \left(\frac{T}{T_1} \right)^{\frac{3}{n}} \cdot e^{-\frac{qV_q(T_1)}{\alpha K \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right)}} \quad (2.7)$$

Величина опору ряду R_s кількісно визначається з нахилу dV/dI вольт-амперної характеристики при напрузі в точці розімкнутого кола [11]. Рівняння R_s має вигляд (2.8).

$$R_s = -\frac{dV}{dI} - \frac{\alpha K T / q}{I_o \cdot e^{\frac{qV_{oc}}{\alpha K T}}} \quad (2.8)$$

2.3 Вихідні характеристики фотоелектричної системи

2.3.1 I-V і P-V характеристики

Кожен сонячний елемент має власну вольт-амперну характеристику (V-I). На рис. 2.2 показана вольт-амперна характеристика типового фотоелектричного елемента. Проблема з отриманням максимально можливої потужності з сонячної панелі пов'язана з нелінійністю кривої характеристики. На характеристиці зображено дві криві, одна з яких показує поведінку струму по відношенню до зростаючої напруги. Інша крива є кривою "потужність-напруга" і отримується за рівнянням ($P=I*V$).

На P-V кривій модуля можна виявити єдиний максимум потужності, коли сонячна панель працює з максимальною ефективністю. Іншими словами, існує пікова потужність, яка відповідає певній напрузі і струму. Для отримання цієї пікової потужності необхідно, щоб сонячна панель працювала в точці максимуму вольт-амперної характеристики або дуже близько до неї. Однак точка, в якій буде працювати панель, буде змінюватися і постійно відхилятися

від максимуму через мінливі умови навколишнього середовища, такі як таких як ізоляція або рівень температури. В результаті виникає потреба в системі постійного відстеження кривої P-V, щоб утримувати робочу точку якомога ближче до максимуму, поки енергія видобувається з фотоелектричної панелі.

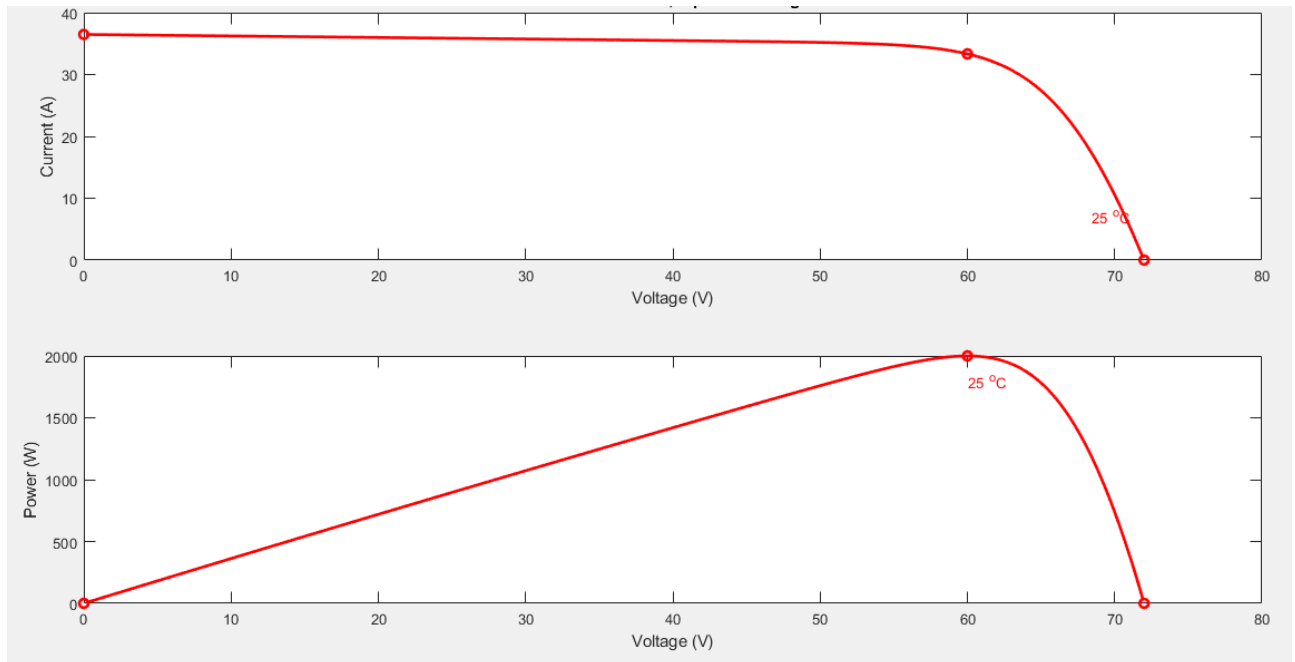


Рисунок 2.2 - Вольт-амперна характеристика сонячної панелі та крива потужності

2.3.2 Вплив опромінення

Сонячні панелі настільки ефективні, наскільки велика кількість енергії, яку вони можуть виробляти. Оскільки сонячні панелі залежать від умов, які ніколи не є постійними, кількість енергії, що видобувається з фотомодуля, може бути дуже мінливою. Освітленість є важливим фактором, що впливає на продуктивність сонячної батареї. Це характеристика, яка описує щільність випромінювання, що падає на певну поверхню. З точки зору фотоелектричних модулів, опромінення описує кількість сонячної енергії, яка поглинається масивом на його площі. Опромінення зазвичай виражається у ватах на

квадратний метр ($\text{Вт}/\text{м}^2$). За ідеальних умов сонячна панель повинна отримувати випромінювання ($100 \text{ мВт}/\text{см}^2$, або $1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$).

На жаль, це значення, отримане від сонячної панелі, буде сильно відрізняться в залежності від географічного розташування, кута падіння сонця або кількості сонячних променів, які не потрапляють на панель через хмари або серпанок. Хоча для живлення сонячної панелі можна використовувати штучне освітлення, фотоелектричні модулі отримують більшу частину енергії виключно з енергії, випромінюваної сонцем. Тому зміна освітленості буде сильно впливати на продуктивність фотомодуля.

На рис.2.3 показано вплив освітленості на вихідну потужність сонячних панелей. Очевидно, що менший рівень освітленості призведе до зменшення вихідної потужності. Зміна вихідного струму пов'язана зі зменшенням потоку фотонів, які рухаються всередині комірки. Напруга робоча і напруга холостого ходу не зазнають істотного впливу через зміну рівня освітленості. Насправді, зміни, що відбуваються з напругою внаслідок опромінення, часто розглядаються як тривіальні і не залежать від зміни потоку фотонів.

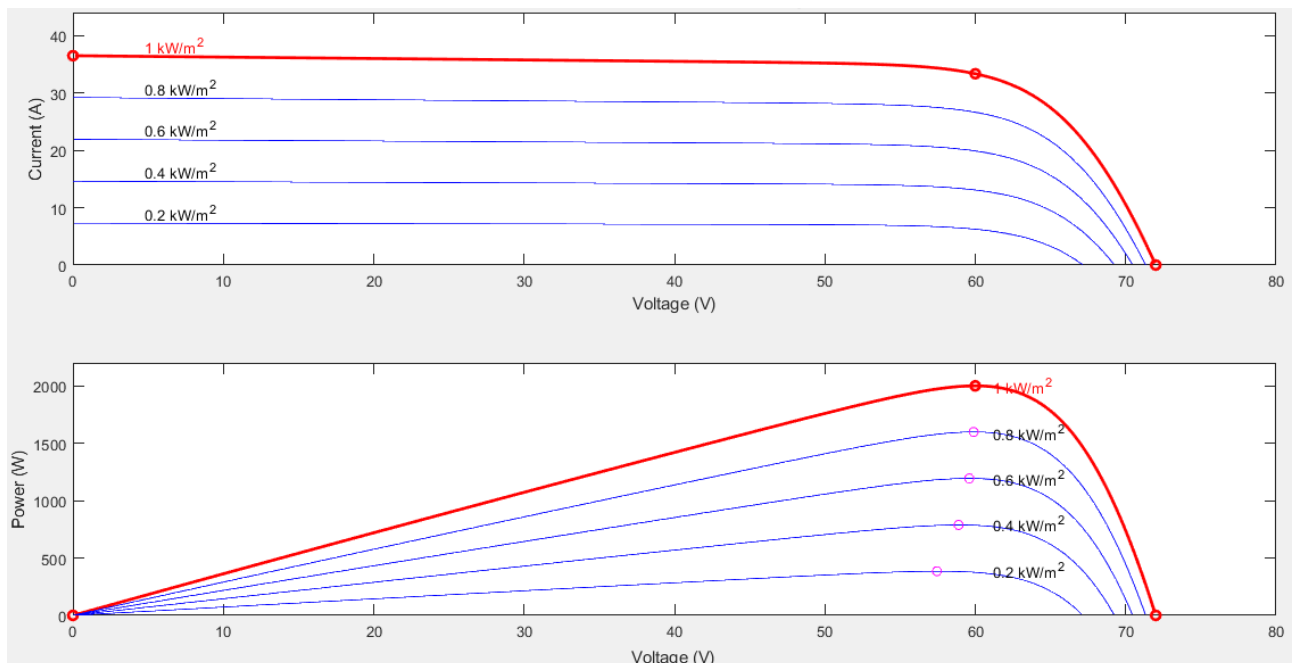


Рисунок 2.3 - I-V та P-V характеристики фотоелектричного перетворювача при різному освітленні

2.3.3 Вплив температури

Температура фотомодуля має великий вплив на його ефективність. Хоча температура не є таким важливим фактором, як тривалість та інтенсивність сонячного світла, дуже важливо враховувати, що при високих температурах вихідна потужність фотомодуля знижується. Температура фотомодуля також впливає на його ефективність. Загалом, ефективність фотомодуля з кристалічного кремнію знижується приблизно на 0,5 відсотка на кожен градус підвищення температури.

Зазвичай фотоелектричні модулі розраховані на температуру модуля 45°C, що на 20°C перевищує температуру повітря. Це означає, що в спекотний день при температурі 50°C його потужність зменшиться приблизно на 12,5%. Рис.2.4 ілюструє вплив зміни температури на вихідну потужність сонячної панелі. Можна легко помітити падіння напруги зі збільшенням температури. Ефект зміни температури не має дуже великого впливу на струм.

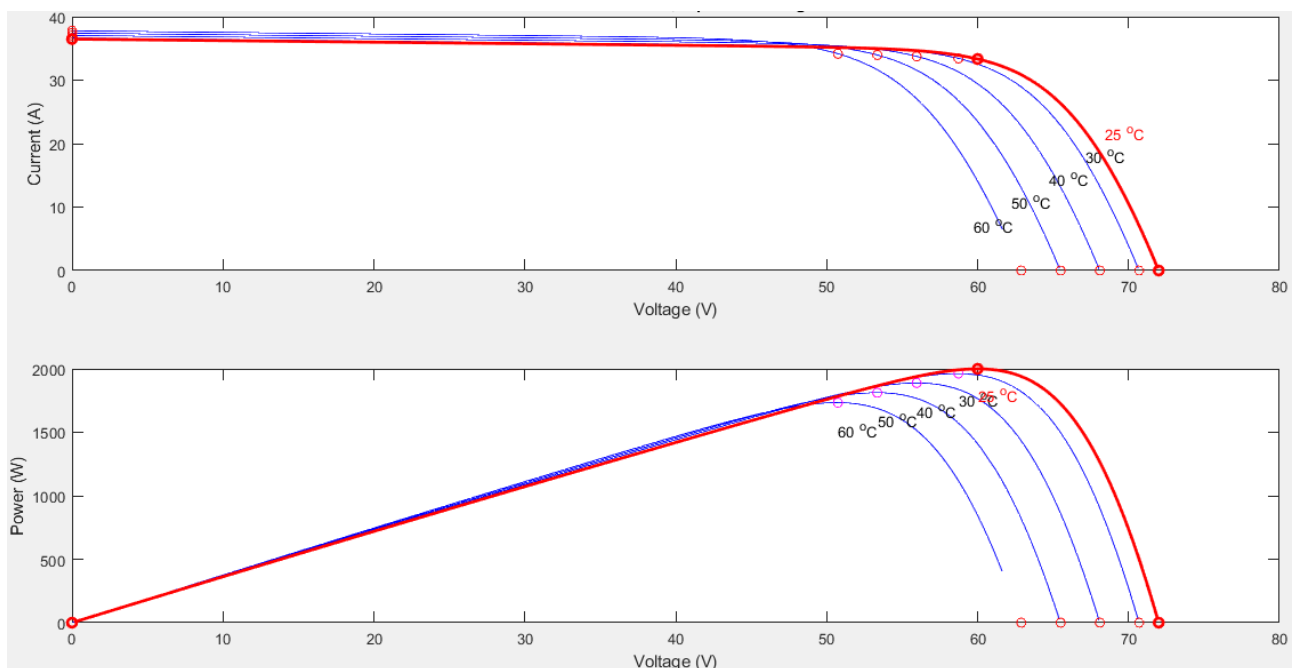


Рисунок 2.4 - Вплив температури на потужність сонячної панелі та I-V криві

2.4 Вибір типу акумулятора та їх класифікація

Сьогодні виробляється багато типів акумуляторних батарей, кожна з яких має специфічну конструкцію і характеристики, придатні для конкретних застосувань. Кожен тип або конструкція батареї має свої сильні і слабкі сторони. У фотоелектричних системах найпоширенішими є свинцево-кислотні та літій-іонні батареї, завдяки їх широкій доступності у багатьох розмірах, низькій вартості та добре вивченим експлуатаційним характеристикам. У деяких критичних, низькотемпературних застосуваннях використовуються нікель-кадмієві елементи, але їх висока початкова вартість обмежує їх використання в більшості фотоелектричних систем. Не існує "ідеального акумулятора", і завдання проектувальника фотоелектричної системи - вирішити, який тип акумулятора є найбільш підходящим для кожного конкретного застосування. Загалом, електричні акумуляторні батареї можна розділити на дві основні категорії: первинні та вторинні [12].

2.4.1 Свинцево-кислотні акумулятори

На даний час в Україні у фотоелектричних системах використовується багато типів свинцево-кислотних акумуляторів, кожен з яких має специфічну конструкцію та експлуатаційні характеристики. Незважаючи на те, що існує багато варіацій конструкції і характеристик свинцево-кислотних елементів, їх часто класифікують за однією з наступних трьох категорій:

a) Акумулятори SLI:

Акумулятори для пуску, освітлення та запалювання (SLI) - це тип свинцево-кислотних акумуляторів, розроблених переважно для роботи в малому циклі, найчастіше використовуються для живлення автомобільних стартерів. Ці батареї мають кілька тонких позитивних і негативних пластин на елемент, призначених для збільшення загальної площі активної поверхні пластин. Велика кількість пластин на комірку дозволяє батареї видавати високі

струми розряду протягом коротких періодів часу. Хоча вони не розраховані на тривалий термін служби в умовах глибокого циклу, SLI-акумулятори іноді використовуються для фотоелектричних систем у країнах, де вони є єдиним типом акумуляторів місцевого виробництва. Хоча вони не рекомендуються для більшості фотоелектричних систем, SLI-батареї можуть забезпечити до двох років корисної роботи в невеликих автономних фотоелектричних системах, де середньодобова глибина розряду обмежена до 10-20%, а максимально допустима глибина розряду - до 40-60%.

б) Силіві або тягові акумулятори:

Силіві або тягові батареї (рис. 2.5) - це тип свинцево-кислотних акумуляторів, призначених для роботи в режимі глибокого розряду, які зазвичай використовуються в транспортних засобах та обладнанні з електричним приводом, таких як гольф-кари, вилочні навантажувачі та підлогопідмітальні машини. Ці батареї мають меншу кількість пластин на елемент, ніж батареї SLI, проте пластини набагато товщі і мають більш міцну конструкцію. Свинцево-сурьмяні решітки з високим вмістом свинцю в основному використовуються в акумуляторних батареях для підвищення продуктивності глибокого циклу. Тягові або моторні батареї дуже популярні для використання в фотоелектричних системах завдяки їхній здатності до глибокого циклу, тривалому терміну служби і міцності конструкції.



Рисунок 2.5 – Тяговий акумулятор. AGM

в) *Стационарні батареї:*

Зазвичай використовуються в джерелах безперебійного живлення (ДБЖ) для забезпечення резервного живлення комп'ютерів, телефонного обладнання та інших критично важливих навантажень або пристроїв.

2.4.2 Літій-іонні акумулятори

Щільність енергії літій-іонних акумуляторів (рис. 2.6) у 3 рази більша, ніж у свинцево-кислотних батарей. Напруга елемента становитиме 3,7 В, а кілька послідовно з'єднаних елементів дадуть необхідну напругу батареї. Літєвий електрод реагує з електролітом, створюючи пасиваційну плівку під час кожного розряду і заряду. Це компенсується використанням товстих електродів. Через це вартість літій-іонного акумулятора вища, ніж нікель-кадмієвого. Надмірна перезарядка шкодить акумулятору.

Характеристики літій-іонних акумуляторів:

Питома енергія: 100-150 Вт·год/кг;

Час: 2000-8000 циклів;

Переваги: висока питома енергія, тривалий термін служби.

Недоліки: Висока вартість, низька безпека.



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд літій-іонного акумулятора зібраного із елементів 18650 з BMS

2.4.3 Нікель-кадмієві батареї

Нікель-кадмієві (Ni-Cad) батареї мають ряд переваг над свинцево-кислотними батареями, які роблять їх привабливими для використання в автономних фотоелектричних системах. Ці переваги включають тривалий термін служби, низькі витрати на обслуговування, стійкість до надмірних розрядів, відмінне збереження ємності при низьких температурах і некритичне регулювання напруги.

Основними недоліками нікель-кадмієвих батарей є їхня висока вартість і обмежена доступність порівняно зі свинцево-кислотними конструкціями.

Типовий нікель-кадмієвий елемент складається з позитивних електродів, виготовлених з гідроксиду нікелю ($\text{NiO}(\text{OH})$) і негативних електродів, виготовлених з кадмію (Cd) і занурених в лужний розчин електроліту гідроксиду калію (KOH). Коли нікель-кадмієвий елемент розряджається, гідроксид нікелю змінює форму ($\text{Ni}(\text{OH})_2$), а кадмій стає гідроксидом кадмію ($\text{Cd}(\text{OH})_2$). Концентрація електроліту не змінюється під час реакції, тому температура замерзання залишається дуже низькою.



Рисунок 2.7 - Нікель-кадмієві (Ni-Cad) акумулятори

2.5 Фактори, що впливають на термін служби акумуляторних батарей

Саморозряд

Деякі батареї зазвичай втрачають від 8 до 20 відсотків свого початкового заряду на рік при зберіганні за кімнатної температури (20-30 °C). Це називається "саморозрядом" і відбувається через "побічні" хімічні реакції, які не виробляють струм, але відбуваються всередині елемента, навіть якщо на нього не подається навантаження. Швидкість побічних реакцій знижується для акумуляторів, що зберігаються при низьких температурах, хоча деякі з них можуть бути пошкоджені при замерзанні. Старі акумуляторні батареї саморозряджаються швидше, ніж одноразові лужні батареї, особливо нікелеві; щойно заряджена нікель-кадмієва (NiCd) батарея втрачає 10% заряду протягом перших 24 годин, а потім розряджається зі швидкістю близько 10% на місяць.

Корозія

Внутрішні частини можуть піддаватися корозії і виходити з ладу, або активні матеріали можуть повільно перетворюватися на неактивні форми.

Фізичні зміни компонентів

Активний матеріал на пластинах батареї змінює хімічний склад під час кожного циклу заряджання та розряджання; активний матеріал може втрачатися через фізичні зміни об'єму, що ще більше обмежує кількість разів, коли батарею можна перезаряджати. Більшість нікелевих акумуляторів частково розряджені при покупці, і їх необхідно зарядити перед першим використанням. Новіші нікель-металогідридні акумулятори вже готові до використання і розряджаються лише на 15 % за рік.

Під час кожного циклу заряджання-розряджання відбувається певне погіршення стану. Деградація зазвичай відбувається через міграцію електроліту від електродів або через відшарування активного матеріалу від електродів. Нікель-металогідридні акумулятори малої ємності (1 700 - 2 000 мА*год) можна заряджати близько 1 000 разів, тоді як нікель-металогідридні акумулятори великої ємності (понад 2 500 мА*год) витримують близько 500 циклів. NiCd

аккумулятори, як правило, розраховані на 1000 циклів, перш ніж їхній внутрішній опір остаточно перевищить допустимі значення. Li-ion аккумулятори витримують від 2500 до 6000 циклів, а деякі і до 8000.

Швидкість заряджання/розряджання

Швидка зарядка збільшує частоту заміни компонентів, скорочуючи термін служби аккумулятора.

Перезарядка

Якщо зарядний пристрій не може визначити, коли аккумулятор повністю заряджений, це може призвести до його перезаряджання та пошкодження. В Li-ion це може привести до вибуху чи пожежі.

Умови навколишнього середовища

Автомобільні свинцево-кислотні аккумуляторні батареї повинні витримувати навантаження через вібрацію, удари і перепади температур. Через ці навантаження і сульфатування свинцевих пластин, лише деякі автомобільні аккумулятори служать більше шести років при регулярному використанні. Автомобільні стартерні батареї мають багато тонких пластин, щоб максимізувати струм. Загалом, чим товщі пластини, тим довший термін служби. Зазвичай вони лише трохи розряджаються перед перезарядкою.

Свинцево-кислотні батареї "глибокого циклу", такі як ті, що використовуються в електричних гольф-карах, мають набагато товстіші пластини для збільшення терміну служби. Основною перевагою свинцево-кислотних аккумуляторів є їхня низька вартість, а основними недоліками - великі розміри і вага при заданій ємності і напрузі. Свинцево-кислотні батареї ніколи не слід розряджати до рівня нижче 20% від їхньої ємності, оскільки внутрішній опір призведе до нагрівання і пошкодження під час перезарядки.

2.6 Послідовне та паралельне з'єднання батарей

При паралельному з'єднанні (рис. 2.8) батарей номінальний струм дорівнює сумі номінальних струмів батарей, складених разом. Напруга

залишається такою ж, як і номінальна напруга на батареях. Ви повинні переконатися, що обидві батареї мають однакову номінальну напругу та однакову силу струму. Якщо вони не збігаються, ви можете пошкодити один з акумуляторів через надмірну зарядку або більший струм. Просто пам'ятайте, що оскільки у вас вдвічі більша ємність, вам знадобиться вдвічі більше часу, щоб повністю зарядити обидва акумулятора. Ось чому це популярно для автомобільної аудіотехніки та човнів, особливо при використанні електричних тролінгових двигунів. Ємність деяких акумуляторів вимірюється в "А·год" або "ампер-годинах". Більшість автомобільних акумуляторів мають номінал "ССА" або "ампер-години холодного пуску". Формула працює однаково для обох одиниць виміру. Переконайтеся, що ваші акумулятори мають однаковий номінал, щоб не пошкодити один з них перезарядженням.

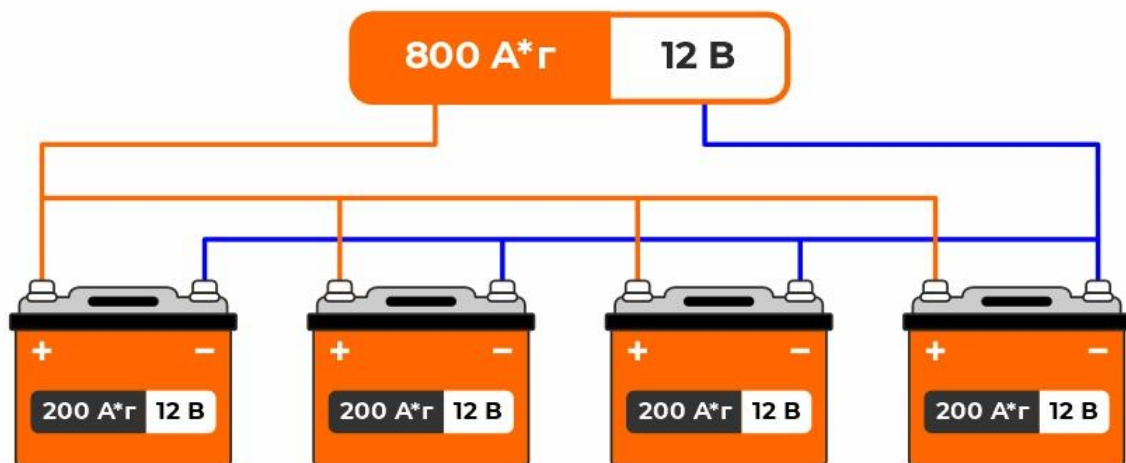


Рисунок 2.8 - Паралельне з'єднання батарей

При послідовному з'єднанні (рис. 2.9) 12-вольтових автомобільних акумуляторів ви додаєте напругу кожного з них для отримання загальної вихідної напруги (48 вольт). Струм залишиться незмінним. Оскільки потужність (P) розраховується за формулою напруга (V) x струм (I) ($V \times I = P$), ви помітите, що оскільки ви фактично подвоюєте напругу до 48 вольт, а струм залишається незмінним, потужність також збільшується у 4 рази. Ось чому з нерегульованим джерелом живлення ви втрачатимете потужність при падінні

напруги. Ви можете отримати 12-вольтову систему з 6-вольтовими батареями, з'єднавши їх послідовно.

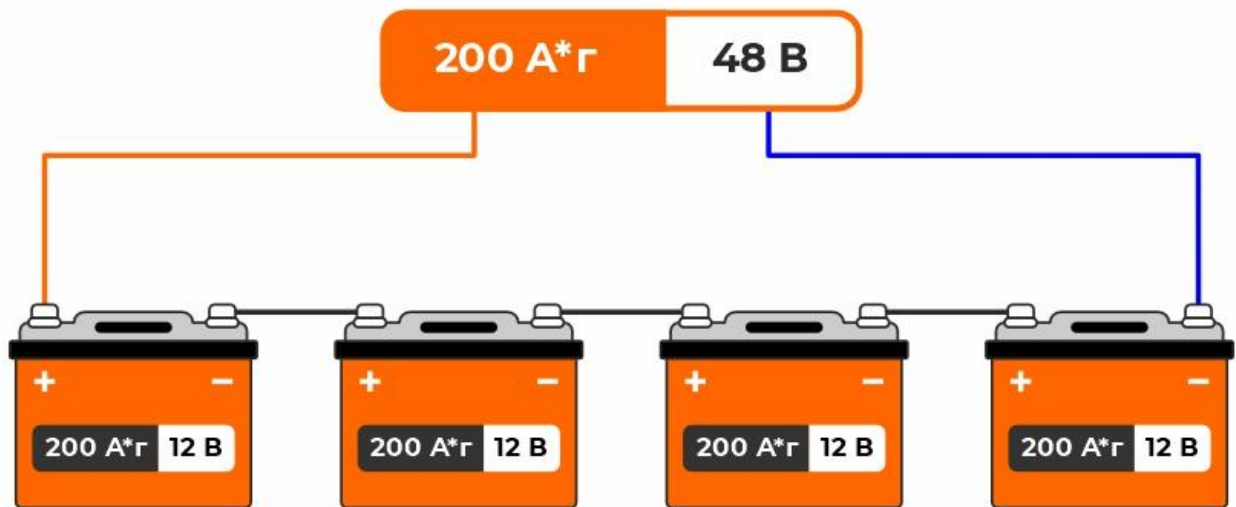


Рисунок 2.9 - Послідовне з'єднання батарей

2.7 Контролер заряду сонячної батареї

Контролери заряду запобігають перезарядженню та перерозрядженню акумуляторних батарей. Крім того, напруга заряду будь-якої батареї повинна бути строго відрегульована. Якщо напруга заряду занадто висока, батарея може бути пошкоджена (через можливу втрату електроліту, надмірне газоутворення і пошкодження пластин) [13].

Якщо зарядна напруга занадто висока, пластини можуть "сульфатуватися", і доступна ємність батареї зменшиться. Якщо підключити батарею безпосередньо до сонячної панелі, після повної зарядки (в яскравий сонячний день) існує ризик перезарядки батареї і, як наслідок, її пошкодження. Одноразова перезарядка не є небезпечною для свинцево-кислотних акумуляторів. А для li-ion акумуляторів це критично.

Однак регулярне перезарядження свинцево-кислотних акумуляторів скорочує термін служби акумулятора, оскільки призводить до втрати електроліту (через виділення газів) і пошкодження пластин. Щоб запобігти перезарядженню батареї після повного заряду, слід підключити контролер

заряду між сонячною батареєю та акумулятором. Правильно підібраний контролер заряду збільшить термін служби вашої акумуляторної батареї.

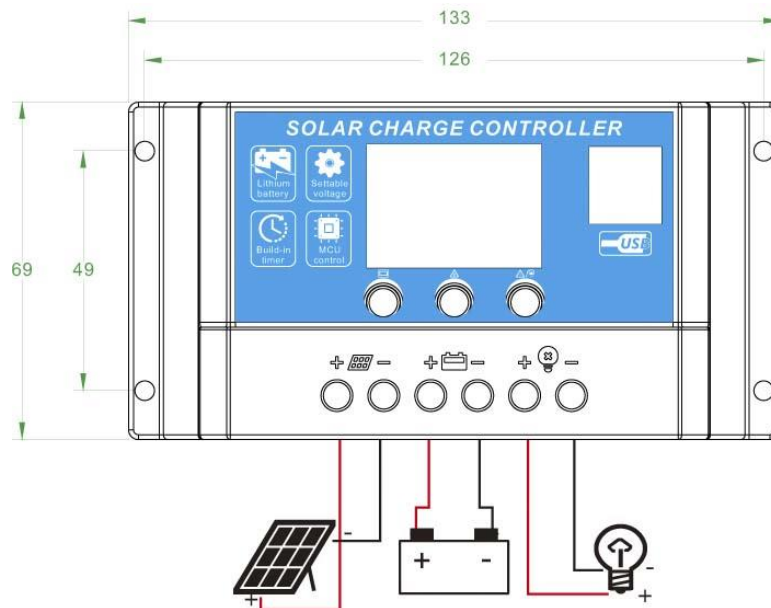


Рисунок 2.10 - Контролер заряду

2.8 Вибір кількості та ємності батареї

Вибір ємності батареї йде пліч-о-пліч з вибором правильного типу батареї для сонячної системи [14]. Основна мета вибору розміру батареї - оцінити мінімальну ємність батареї, необхідну для забезпечення щоденного споживання електроенергії (2.9)

$$Q = \frac{(W_{\text{день}} \cdot n_{\text{днів}})}{(D \cdot E_k \cdot V_{\text{ак}})} \quad (2.9)$$

де Q - мінімальна необхідна ємність акумулятора (в А·год),

$W_{\text{день}}$ - середньодобова потреба в енергії (у Вт·год), визначена на основі аналізу навантаження пристроїв, що використовуються щодня. Аналіз навантаження - це оцінка середньодобового споживання енергії на основі номінальної потужності кожного пристрою та тривалості його використання.

$n_{\text{днів}}$ - це дні автономної роботи, обрані відповідно до того, наскільки важливо для вас, щоб наявні прилади працювали без перебоїв. Зазвичай це значення становить від 3 до 5 днів.

D - допустима глибина розряду акумулятора. Як правило, свинцево-кислотний акумулятор, на відміну від нікель-кадмієвих і літій-іонних, ніколи не слід розряджати повністю. Для свинцево-кислотних акумуляторів зазвичай використовується значення $D = 80\%$, проте $D = 50\%$ забезпечить довший термін служби акумулятора.

E_k - (Ефективність кабелю) означає втрати в кабелях між акумуляторною батареєю і контролером заряду, а також між батареєю і навантаженням.

$V_{ак}$ - це напруга системи, яка зазвичай становить 12 В для малих систем, 24 В для середніх систем і 48 В для великих систем.

В результаті аналізу енергоспоживання вибираємо наступні вихідні дані для розрахунку ємності акумуляторів:

1. $W_{день} = 24000 \text{ Вт}\cdot\text{год};$
2. $n_{днів} = 3 \text{ дні};$
3. $D = 50\%;$
4. $E_k = 92\%;$
5. $V_{ак} = 24 \text{ В}.$

Отже,

$$Q = (24000 \cdot 3) / (0,50 \cdot 0,92 \cdot 24) = 6521,739 \text{ А}\cdot\text{год}$$

Визначивши мінімально необхідну ємність, ось що потрібно зробити далі:

- Вибрати певний тип батареї, доступний на ринку;
- Розрахувати, скільки батарей такого типу потрібно з'єднати послідовно та/або паралельно, щоб досягти вищезазначеної мінімальної необхідної ємності.

Отже, для вибору FLA - заливних свинцево-кислотних акумуляторів, які мають:

Напруга батареї $V = 12 \text{ В};$

Ємність однієї батареї $Q_1 = 500 \text{ А}\cdot\text{год};$

Кількість послідовно з'єднаних батарей:

$$N_{\text{посл}} = V_{\text{ак}} / V ;$$

$$N_{\text{посл}} = 24/12 = 2 \text{ батареї.}$$

Кількість батарей паралельно:

$$N_{\text{парал}} = Q / Q_1;$$

$$N_{\text{парал}} = 6521,739/500 = 14 \text{ батарей.}$$

Отже загальна кількість акумуляторних батарей рівна $2 \cdot 14 = 28$ шт.

2.9 Вибір інвертора

2.9.1 Призначення інвертора

Перетворювачі постійної напруги на змінну називаються інверторами. Функція інвертора полягає в перетворенні вхідної напруги постійного струму в змінну вихідну напругу синусоїдного струму потрібної величини і частоти. Вихідна напруга може бути фіксованою або змінною з фіксованою або змінною частотою. Змінну вихідну напругу можна отримати, змінюючи вхідну постійну напругу і підтримуючи коефіцієнт підсилення інвертора постійним. З іншого боку, якщо вхідна напруга постійного струму є фіксованою і не регулюється, змінну вихідну напругу можна отримати, змінюючи коефіцієнт підсилення інвертора, що зазвичай досягається за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) всередині інвертора.

Коефіцієнт підсилення інвертора можна визначити як відношення вихідної напруги змінного струму до вхідної напруги постійного струму. Форма вихідної напруги ідеального інвертора повинна бути синусоїдальною. Однак, форми сигналів практичних інверторів не є синусоїдальними і містять певні гармоніки. Для застосувань малої та середньої потужності може бути прийнятною напруга прямокутної або квазіпрямокутної форми; для застосувань великої потужності потрібні синусоїдальні форми напруги з низьким рівнем спотворення. З появою високошвидкісних силових напівпровідникових приладів вміст гармонік у вихідній напрузі може бути зведений до мінімуму або значно зменшений за допомогою методів комутації. Інвертори широко

застосовуються в промисловості (наприклад, в приводах змінного струму, відновлюваних джерелах енергії, транспорті, індукційному нагріванні, резервних джерелах живлення та джерелах безперебійного живлення).

Постійна напруга може подаватися з акумулятора, паливного елементу, сонячної батареї або іншого джерела постійного струму. Типові однофазні виходи: (1) 120 В при 60 Гц, (2) 220 В при 50 Гц і (3) 115 В при 400 Гц. Для потужних трифазних систем типові вихідні напруги: (1) від 220 до 380 В при 50 Гц, (2) від 120 до 208 В при 60 Гц і (3) від 115 до 200 В при 400 Гц. Інвертори можна умовно поділити на два типи: (1) однофазні інвертори та (2) трифазні інвертори. Кожен тип може використовувати керовані пристрої вмикання та вимикання (наприклад, біполярні транзистори [BJT], металооксидні польові транзистори [MOSFET], біполярні транзистори з ізольованим затвором [IGBT], металооксидні напівпровідникові керовані тиристори [MCT], статичні індукційні транзистори [SIT] та тиристори з затвором, що вимикається [GTO]). Ці інвертори, як правило, використовують ШІМ-сигнали керування для отримання вихідної напруги змінного струму. Інвертор називається інвертором з живленням від напруги (VFI), якщо вхідна напруга залишається постійною, інвертором з живленням від струму (CFI), якщо вхідний струм підтримується постійним, і інвертором зі змінною постійною напругою, якщо вхідна напруга може регулюватися. Якщо вихідна напруга або струм інвертора змушені проходити через нуль шляхом створення резонансного LC-контур, такий тип інвертора називається резонансним імпульсним інвертором, і він має широке застосування в силовій електроніці.

2.9.2 Принцип роботи однофазних інверторів

Однофазний мостовий інвертор джерела напруги показаний на рис. 2.11 (а). Він складається з чотирьох дроселів. Коли транзистори Q1 і Q4 вмикаються одночасно, на навантаженні з'являється вхідна напруга V_0 . Якщо транзистори

Q2 і Q3 увімкнені одночасно, напруга на навантаженні змінюється на протилежну і становить $-V_o$. Форма вихідної напруги показана на рис. 2.11 (б).

Коли діоди D1 і D4 проводять, енергія повертається назад до джерела постійного струму; таким чином, вони відомі як діоди зі зворотним зв'язком. На рис. 2.11 (б) показано форму струму навантаження для індуктивного навантаження.

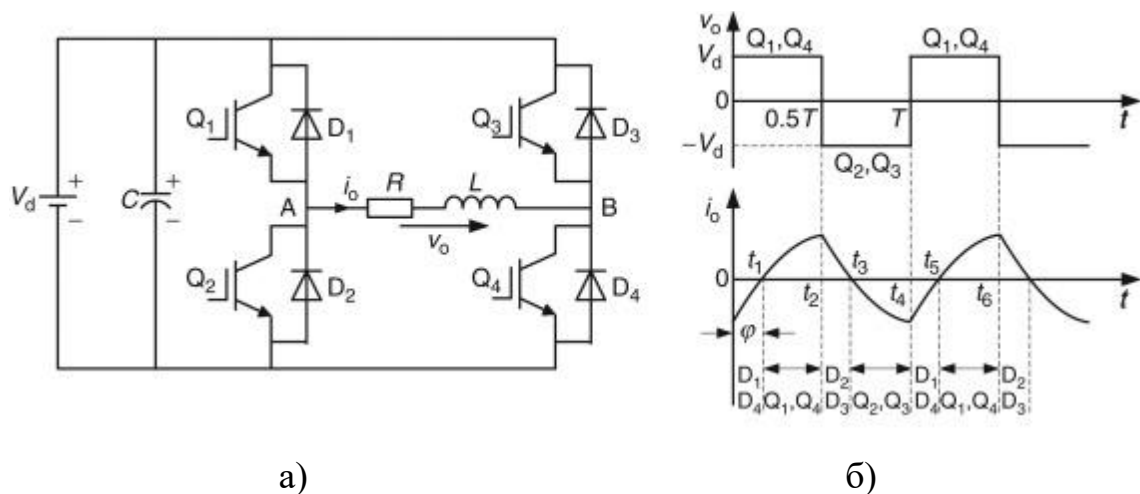


Рисунок 2.11 - Схема (а) та осцилограми (б) однофазного інвертора

Середньоквадратичне значення вихідної напруги можна знайти з наступного рівняння (2.10).

$$V = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} V_o^2 dt \right)^{1/2} = V_o \quad (2.0)$$

Струм живлення постійного струму можна знайти з наступного рівняння (2.11).

$$i_o(t) = \frac{V_{o1}}{V_o} I_o \cos(\theta_1) - \frac{V_{o1}}{V_o} I_o \cos(2\omega t - \theta_1) \quad (2.0)$$

де V_{o1} - вихідна напруга;

I_o - струм навантаження;

2.9.3 Регулювання напруги однофазних інверторів

У багатьох промислових пристроях часто необхідне регулювання вихідної напруги інверторів. Це потрібно для того, щоб впоратися з коливаннями вхідної напруги постійного струму, для регулювання вихідної напруги інверторів, і для забезпечення постійної напруги та контролю частоти.

Існують різні методи зміни коефіцієнта підсилення інвертора. Найефективнішим методом регулювання коефіцієнта підсилення (і вихідної напруги) є використання ШІМ в інверторах. Найпоширенішими методами є наступні:

1. Одноімпульсна широтно-імпульсна модуляція.
2. Багатоімпульсна широтно-імпульсна модуляція.
3. Синусоїдальна широтно-імпульсна модуляція.
4. Модифікована синусоїдальна широтно-імпульсна модуляція.
5. Керування фазовим зсувом.

2.9.3 Регулювання напруги однофазних інверторів

Останнім компонентом, необхідним для генерування чистого синусоїдального сигналу, є вихідний фільтр. Для нашої схеми нам потрібен базовий LC фільтр низьких частот з наступним налаштуванням, як показано на рис. 2.12 Він відфільтрує весь надлишковий шум вище критичної частоти ($f=1/2*3.14*((LC)A0.5)$). Метою цього було максимально наблизити критичну частоту до бажаної частоти 50 Гц, видаливши інші гармоніки, які з'являються в системі. Чим більша ємність та індуктивність потрібні для правильного створення фільтра.

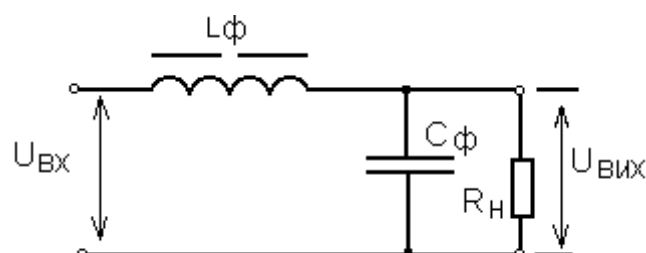


Рисунок 2.12 - Вихідний фільтр інвертора

2.10 Висновки до розділу

1. Описано математичну модель фотоелектричного елемента, яку використано при виконанні динамічного аналізу перетворювачів, при вивченні алгоритмів відстеження точки максимальної потужності і, головним чином, для моделювання фотоелектричної системи та її компонентів за допомогою засобів імітаційного моделювання.
2. Обґрунтовано вихідні характеристики фотоелектричної системи та вплив на них зовнішніх факторів.
3. Виконано обґрунтування та вибір типу акумуляторів, розраховано їх кількість та ємність. Описано вимоги до експлуатації акумуляторних систем накопичення електроенергії. Зазначено особливості їх послідовного та паралельного з'єднання.
4. Описано призначення та функціональні можливості контролера акумуляторної батареї у фотоелектричній системі.
5. Проведено аналіз принципу роботи та характеристик інвертора, як одного із головних складових фотоелектричної системи.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Роль MATLAB/SIMULINK у проектуванні систем відновлюваної енергетики

MATLAB - це програмне забезпечення для чисельних обчислень і моделювання, яке було розроблено як комерційний інструмент з простим у використанні інтерфейсом на основі більш ранніх чисельних бібліотек, таких як LINPACK і EISPACK, які спочатку були написані на діалекті мови FORTRAN, що налаштовується. На відміну від відомих програм комп'ютерної алгебри, наприклад, MAPLE або MATHEMATICA, які придатні для виконання типових операцій і, відповідно, встановлення числових порівнянь, як це зазвичай робиться з папером і олівцем.

MATLAB має можливість виконувати абсолютні числові розрахунки. Програми комп'ютерної алгебри вимагають складних інформаційних структур, які включають заплутану синтаксичну структуру для стандартного користувача і складні проекти для програміста. Так чи інакше, MATLAB, в основному, включає в себе єдину інформаційну структуру, на якій базуються всі її операції. Це числове поле, або, як його ще називають, матриця. Це відображено в назві: MATLAB - це абревіатура від Matrix Laboratory.

SIMULINK - це інструмент для моделювання динамічних систем, що походить від термінів Simulation (моделювання) і Link (зв'язок). Він доступний у вигляді інструментарію, який є невід'ємною частиною середовища MATLAB. SIMULINK пов'язаний з MATLAB за допомогою графічного інтерфейсу користувача, а також включає в себе велику бібліотеку лінійних, нелінійних, неперервних і дискретних функцій, доступних у вигляді блоків. Метою цієї книги є ознайомлення з простими маніпуляціями, пов'язаними з системами перетворення сонячної та вітрової енергії за допомогою наборів блоків SIMULINK.

Застосування MATLAB і SIMULINK варіюється від джерел живлення до керування роботами, промислової автоматизації, автомобілебудування, промислових приводів, якості електроенергії та систем відновлюваної енергетики. Зокрема, перед встановленням електростанції, MATLAB знаходить застосування у виборі системи на основі вимог і для вибору конкретних компонентів для сонячних фотоелектричних систем.

У системах відновлюваної енергетики MATLAB допомагає у побудові графіків функцій і даних, реалізації алгоритмів MPPT, створенні користувацьких інтерфейсів для моніторингу сонячних фотоелектричних модулів і для взаємодії з інверторами і перетворювачами, в яких алгоритми управління будуть написані іншими мовами. В результаті моделювання в MATLAB компонентів сонячної фотоелектричної системи можна скористатися цією моделлю як фотоелектричним генератором в рамках роботи інструментарію MATLAB/ SIMULINK в області систем перетворення сонячної енергії в електричну.

3.2 Модель сонячної фотоелектричної системи в MATLAB

Фотоелектрична система, для забезпечення певного навантаження у даному проєкті, має потужність 2 кВт. Скріншот налаштування з'єднання фотоелектричних панелей послідовно паралельно для отримання необхідної потужності, наведена на рис. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики обраної фотоелектричної (сонячної) панелі

Потужність (Вт)	250 Вт
Напруга холостого ходу (В)	36 В
Струм короткого замикання (А)	9.16 А
Максимальна напруга живлення (В)	30 В
Максимальний струм живлення (А)	8.33 А
Всі технічні дані при стандартних умовах тестування (STC) $A_m=1.5$, $E=1000 \text{ W/m}^2$, $T_c=25 \text{ C}$	

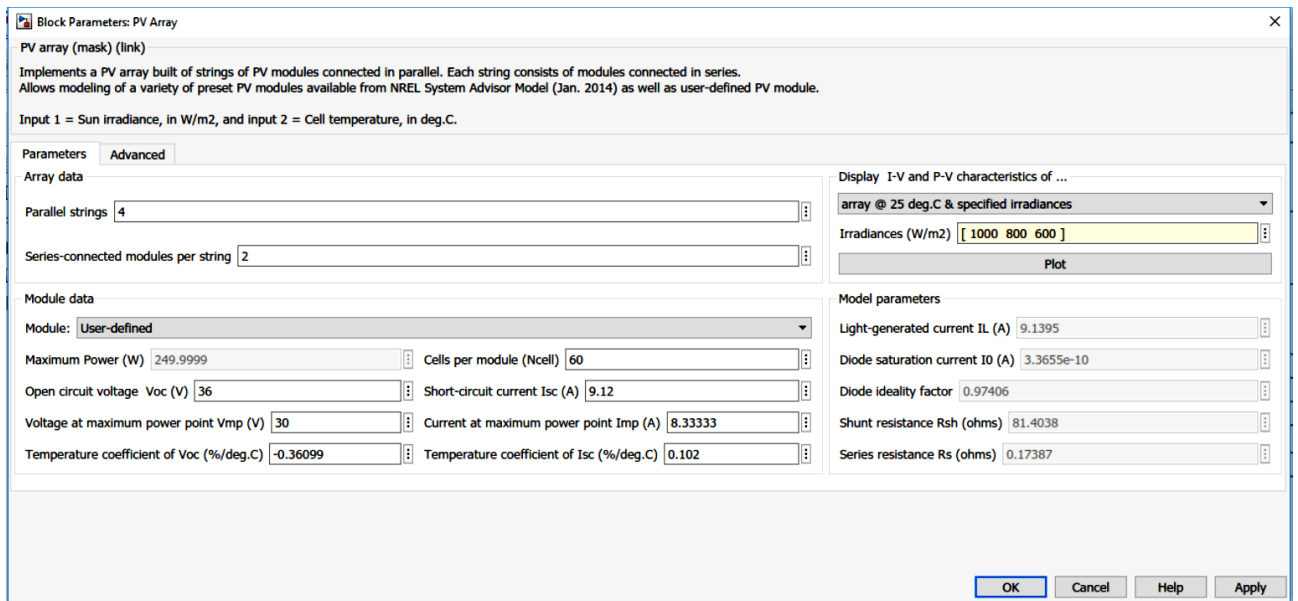


Рисунок 3.1 - Скріншот налаштування з'єднання фотоелектричних панелей MATLAB

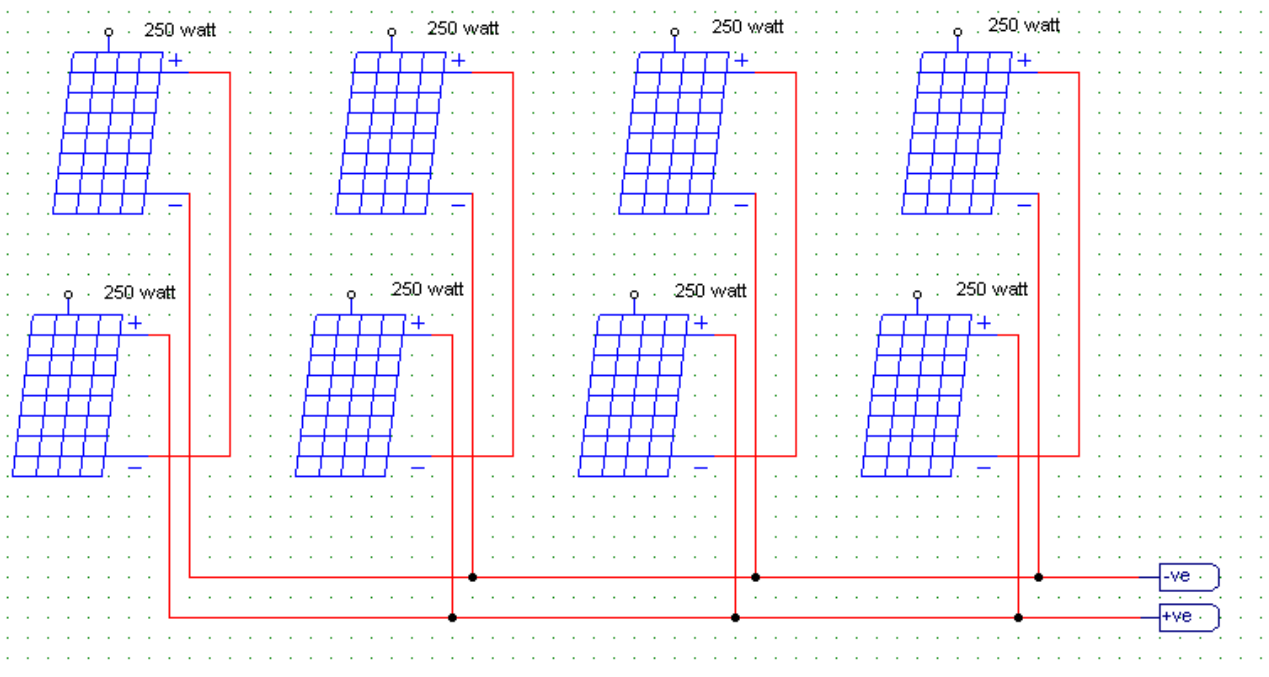


Рисунок 3.2 - Послідовно-паралельне з'єднання фотоелектричних панелей

Отже, з'єднано вісім сонячних панелей разом і вихідна потужність кожної панелі дорівнює 250 Вт. Таким чином, кожні дві панелі з'єднані послідовно і максимальна напруга для кожної з них дорівнює 30 вольт і максимальний струм

для кожної з них дорівнює 8,33 ампер, як показано на рис. 3.1, тому після послідовного з'єднання ми отримаємо вихідну напругу 60 В і вихідний струм 8,33 А. Потім з'єднано чотири здвоєні панелі паралельно і отримано вихідну напругу 60 В і вихідний струм 33,32 А і максимальну вихідну потужність 2 кВт, що показано на рис. 3.2.

3.3 Алгоритм MPPT з використанням MATLAB/SIMULINK

Детальна блок-схема згаданого вище алгоритму ІС MPPT побудована за допомогою MATLAB/SIMULINK, і модель показана на рис. 3.3. Тут напруга та струм на входах вимірюються для обчислення потужності, як показано на рисунку. Межа насичення встановлюється для моніторингу збільшення та зменшення напруги, щоб уникнути коливань в МПП. Робочий цикл в алгоритмі ІС можна регулювати, як показано на рис. 3.4.

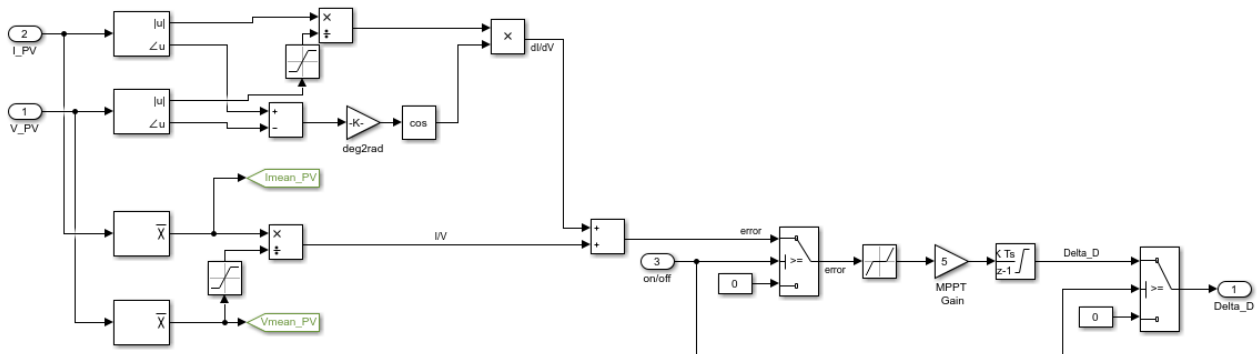


Рисунок 3.3 - SIMULINK модель методу ІС MPPT

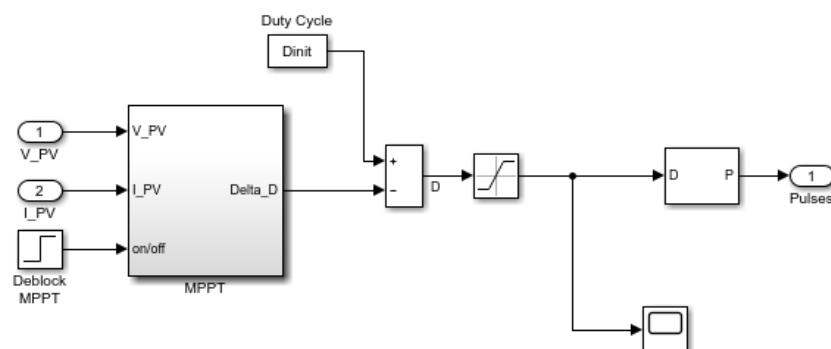


Рисунок 3.4 - SIMULINK модель для регулювання робочого циклу

3.4 Фотоелектричний модуль який працює з контролером із технологією MPPT

SIMULINK модель для алгоритму MPPT з використанням приросту провідності показано на рис. 3.5. Параметри фотоелектричного модуля задано згідно з рис. 3.1. Параметри, що використовуються в моделі, мають наступні характеристики, наведені в таблиці 3.2.

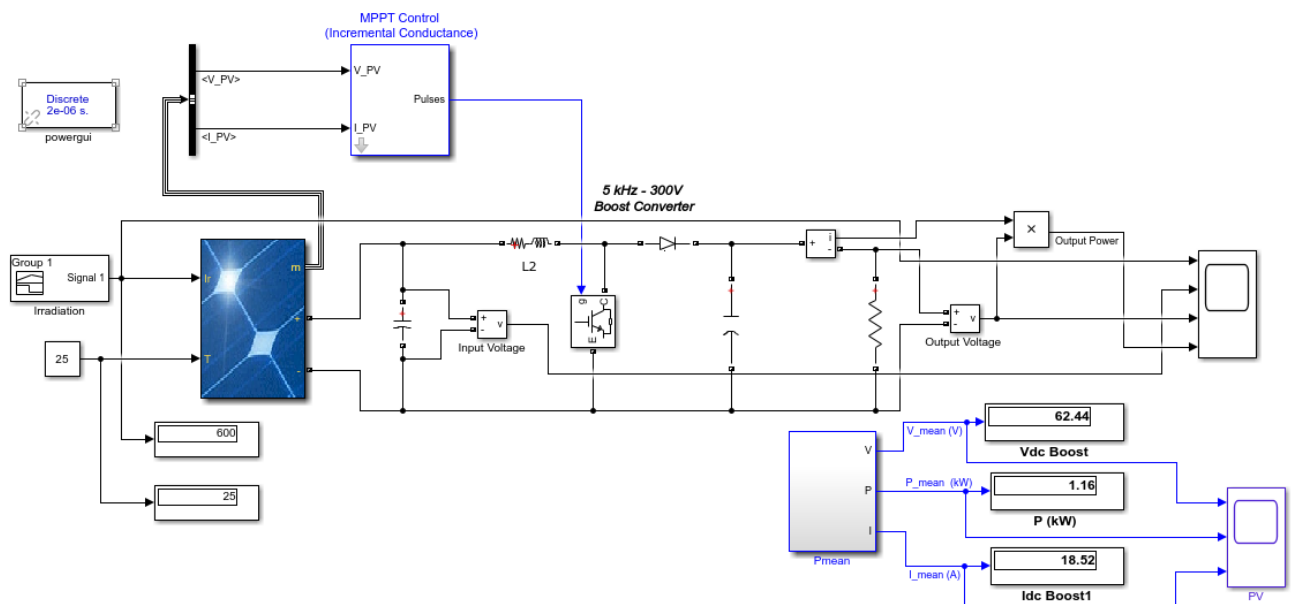


Рисунок 3.5 - Загальна SIMULINK модель з MPPT

Таблиця 3.2 - Параметри загального модуля

Параметр	Значення
C_{in}	1000 мкФ
L	0.12 мГн
C_{out}	8 мФ
Частота перемикавання, F_s	5 кГц
R	20 Ом

3.5 Результати моделювання

Метод приросту провідності та отриманий результат показано на рис. 3.6 і 3.7. Моделювання проводилося при зміні опромінення від 1000 Вт/м², 800 Вт/м² і 600 Вт/м². На рис. 3.6 показано залежність напруги та вихідної

потужності від часу без методу МРРТ з приростом провідності, з фіксованим робочим циклом і частотою перемикання 5 кГц. Також на рис. 3.7 показано залежність напруги та вихідної потужності від часу з МРРТ.

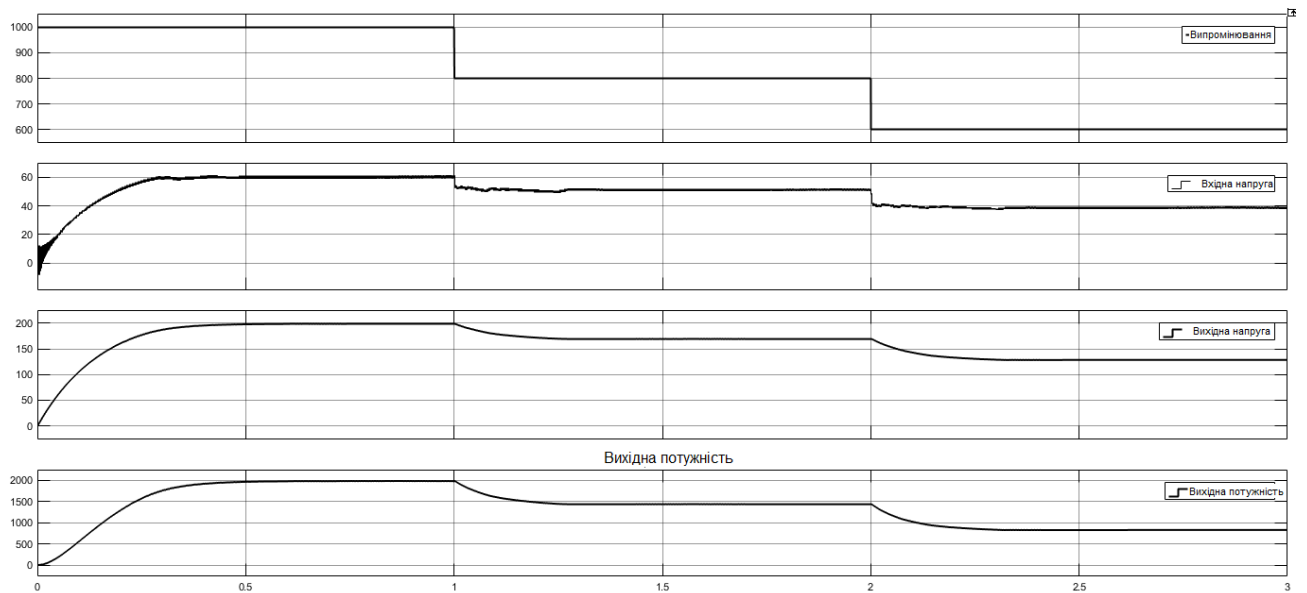


Рисунок 3.6 Напруга і потужність в залежності від часу без МРРТ при температурі 25 °С і зміні опромінення 1000 Вт/м², 800 Вт/м² і 600 Вт/м²

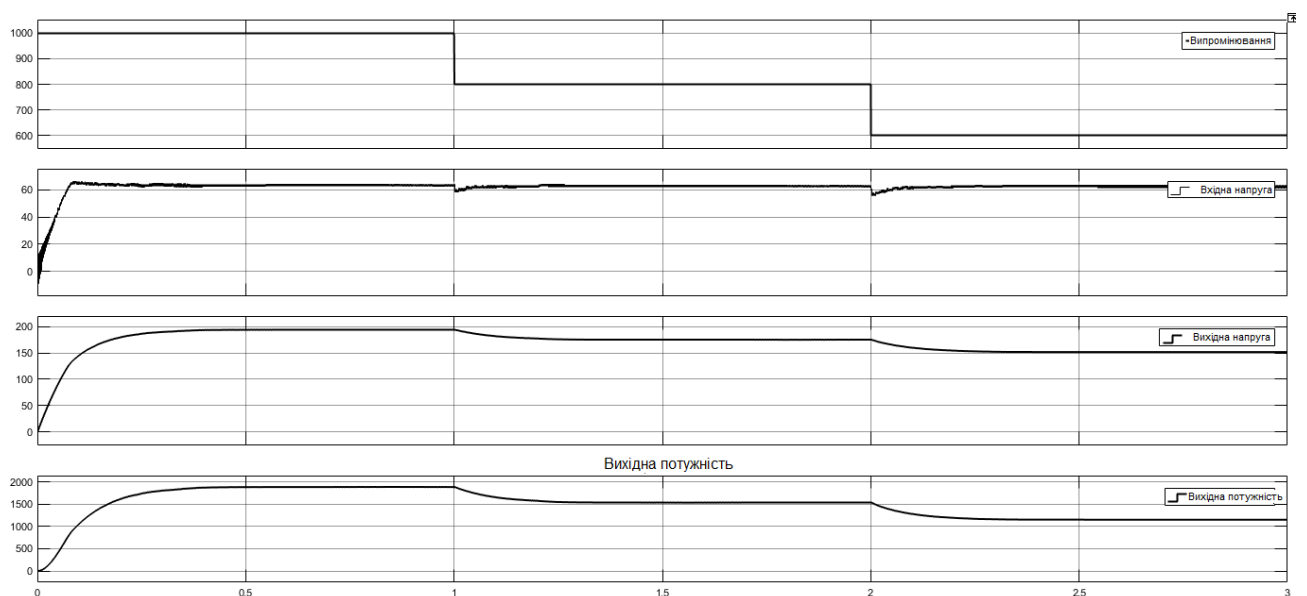


Рисунок 3.7 Напруга і потужність в залежності від часу з МРРТ при температурі 25 °С і зміні опромінення 1000 Вт/м², 800 Вт/м² і 600 Вт/м²

3.6 Характеристика розряду аккумулятора при номінальному струмі

Як відомо і показано в попередніх розділах, аккумулятори вважаються джерелом електричної енергії, що використовується у фотоелектричних системах, і існує кілька типів аккумуляторів, тому ми будемо використовувати літій-іонний тип, посилаючись на його переваги в попередніх розділах. У цьому розділі ми детально розглянемо роботу аккумуляторів. На рис. 3.8 показано струм розряду літій-іонного аккумулятора та його залежність від часу в годинах.

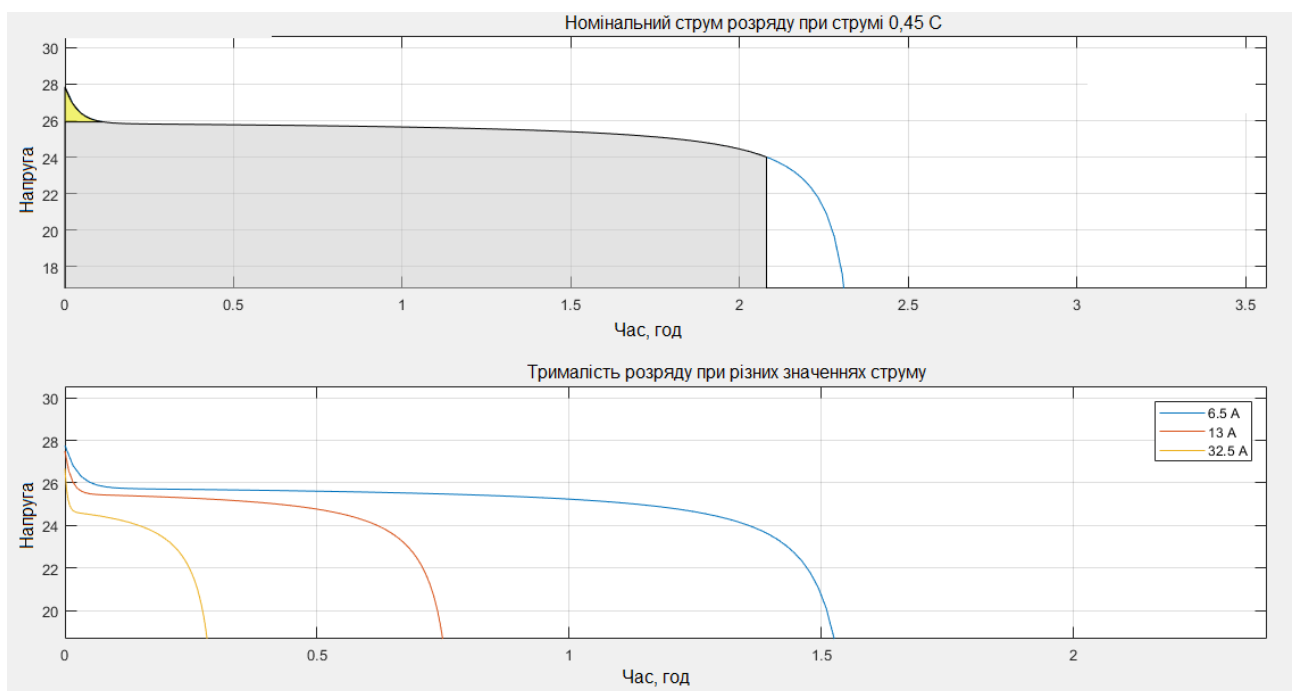


Рисунок 3.8 Залежність номінального струму розряду літій-іонних аккумуляторів від часу в годинах

На рис. 3.9 зображено блок модуля аккумулятора в тому вигляді, в якому він представлений в MATLAB Simulink. Коли запускаємо модуль зарядки і розрядки, бачимо три стрілки, що вказують на (SOC), зарядний струм і напругу аккумулятора.

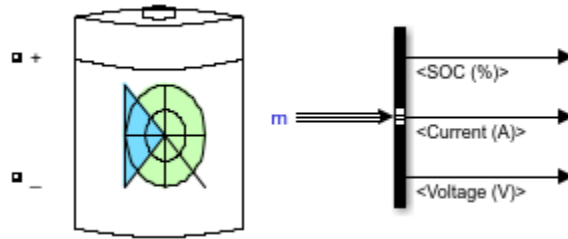


Рисунок 3.9 - Модуль акумулятор в MATLAB Simulink

3.7 Моделювання DC/DC перетворювача Buck-Boost

Після того, як знаємо інформацію про акумуляторний модуль, можемо спроектувати систему зарядки і розрядки акумуляторів і знаємо кількість акумуляторів, що використовуються в сонячній системі в залежності від попередніх розрахунків, тому основні силові електронні компоненти, що використовуються в цьому модулі, як показано на рис. 3.10. відомі як Buck-Boost перетворювач. Усі параметри, що використовуються в цьому модулі, наведені в табл. 3.3. і відносяться до режиму "Buck"

Таблиця 3.3 - Параметри DC/DC перетворювача

$V_s = 100 \text{ В}$
$F = 25 \text{ кГц}$
$L = 856 \text{ мкГн}$
$V_a = 12 \text{ В}$
$\Delta V = 50 \text{ мВ}$
$C = 171,2 \text{ мкФ}$
$K = 10,7 \%$
$\Delta I = 0,5 \text{ А}$

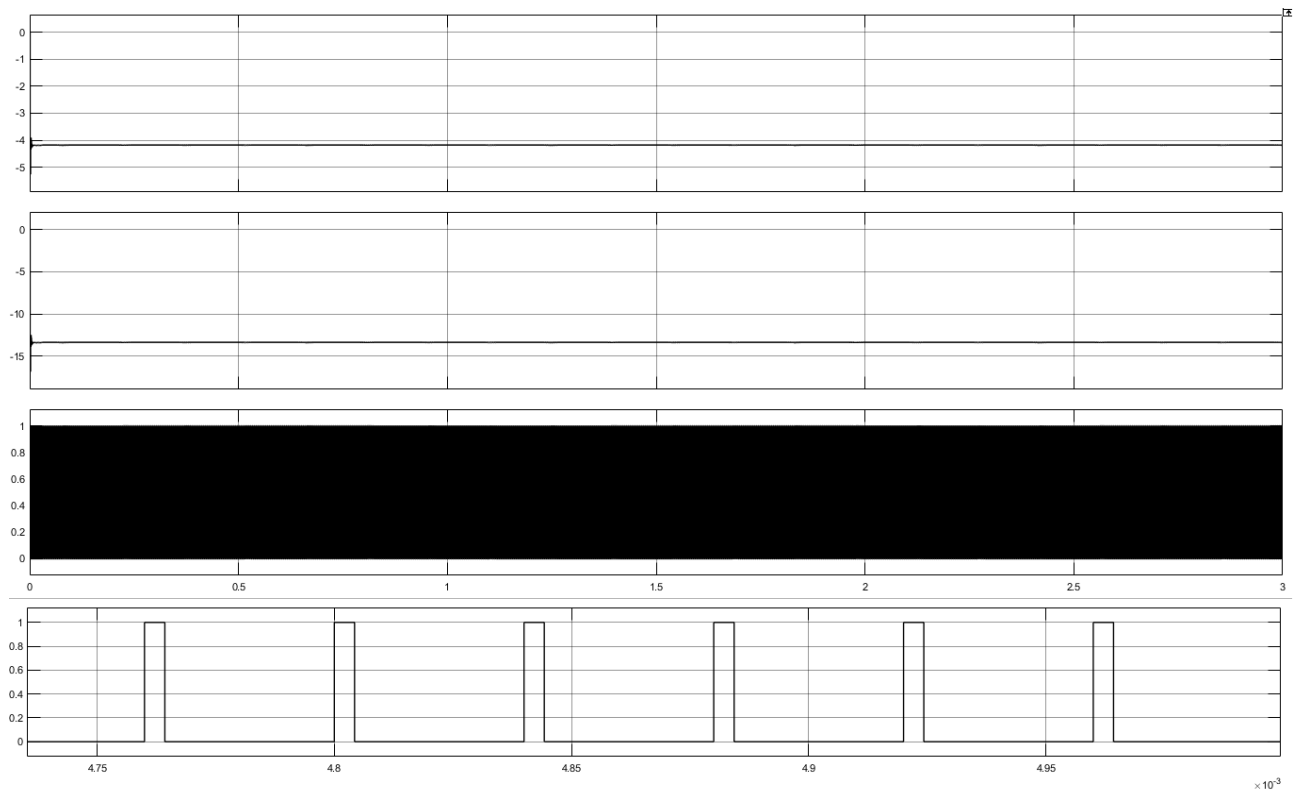


Рисунок 3.10 - Вихідна напруга, струм та комутація імпульсів Buck-Boost перетворювача

3.8 Модель інвертора в MATLAB Simulink

3.8.1 Блок формування синусоїди

Функція інвертора полягає в перетворенні постійної вхідної напруги в симетричну змінну напругу на виході бажаної величини і частоти. Вихідна напруга може бути фіксованої або змінної частоти. Вихід ідеального інвертора повинен бути синусоїдальним, тому, як показано на рис. 3.11.

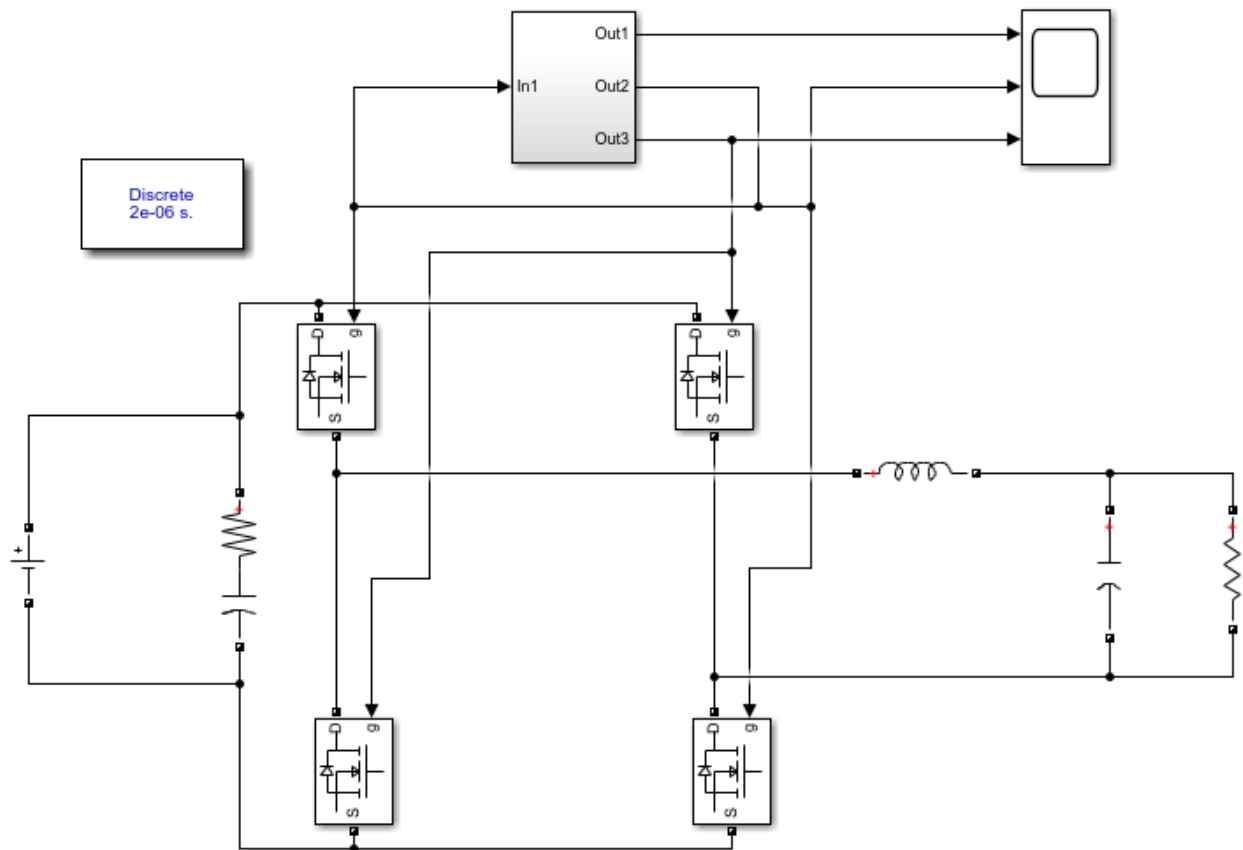


Рисунок 3.11. – Блок формування синусоїди в інверторі в MATLAB Simulink

3.8.2 Контролер інвертора

Як обговорювалося в попередніх розділах, існують різні методи керування напругою однофазних інверторів. Регулювання вихідної напруги інверторів є необхідним:

- а) Щоб впоратися з коливаннями вхідної напруги постійного струму;
- б) Для регулювання напруги інверторів;
- в) Для задоволення вимог до постійної напруги та частоти.

аїефективнішим методом керування коефіцієнтом підсилення та вихідною напругою є використання ШІМ в інверторах. Найпоширенішими методами є наступні:

- 1- Одноімпульсна широтно-імпульсна модуляція
- 2- Багатоімпульсна широтно-імпульсна модуляція

3- Синусоїдальна широтно-імпульсна модуляція

4- Модифікована синусоїдальна широтно-імпульсна модуляція

5- Керування фазовим зсувом

Отже, нами використано третій метод - синусоїдальну широтно-імпульсну модуляцію, оскільки бажана вихідна напруга є синусоїдальною, в якості опорного сигналу використовується синусоїдальний сигнал, як показано на рис. 3.11.

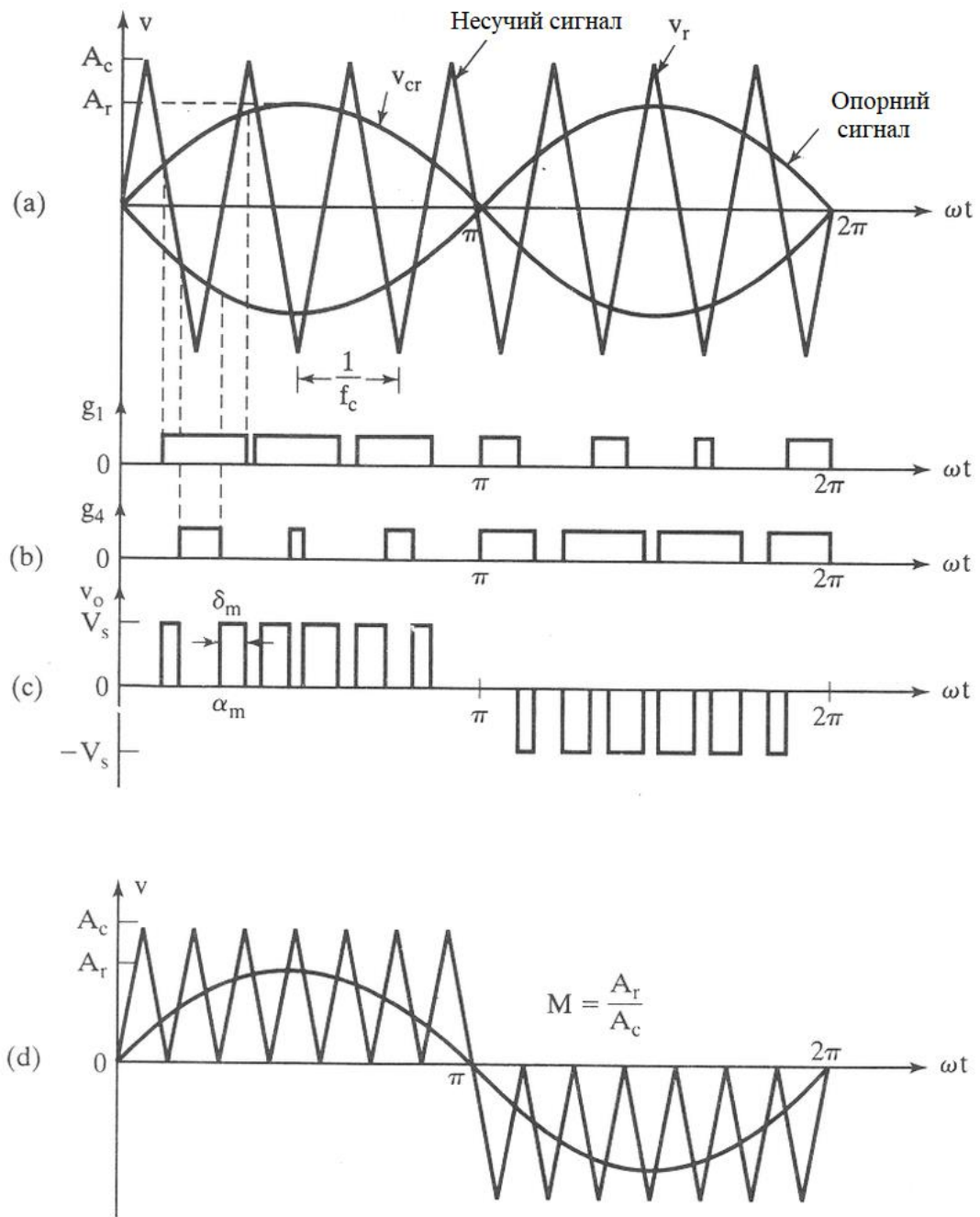


Рисунок 3.12 - Синусоїдальна широтно-імпульсна модуляція

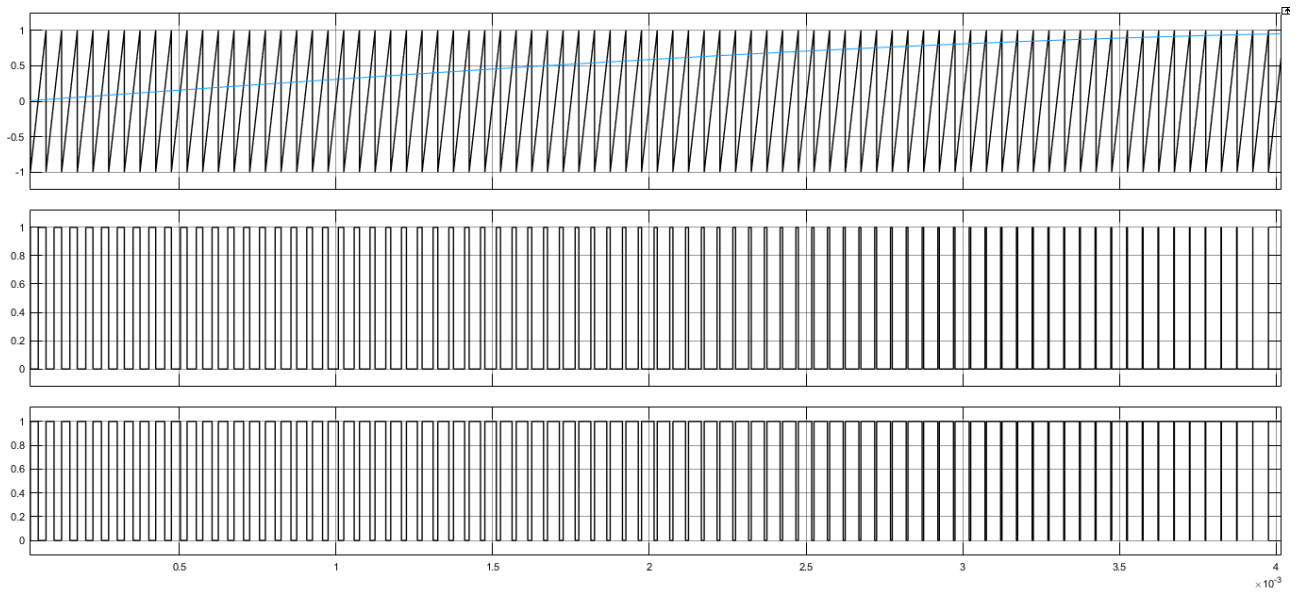


Рисунок 3.13 - Графіки MATLAB для синусоїдальної широтно-імпульсної модуляції

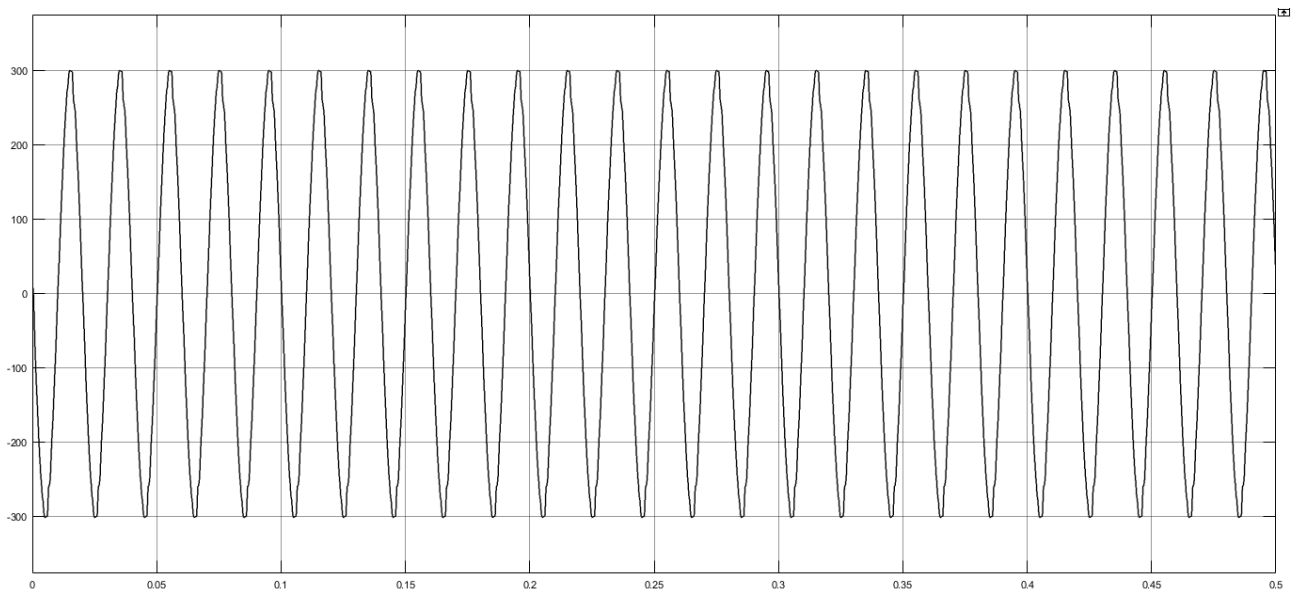


Рисунок 3.14 - Вихідна напруга інвертора

3.9 Підключення компонентів фотоелектричної системи до навантаження

На рис. 3.14 показано як компоненти фотоелектричної системи з'єднані між собою в MATLAB SIMULINK.

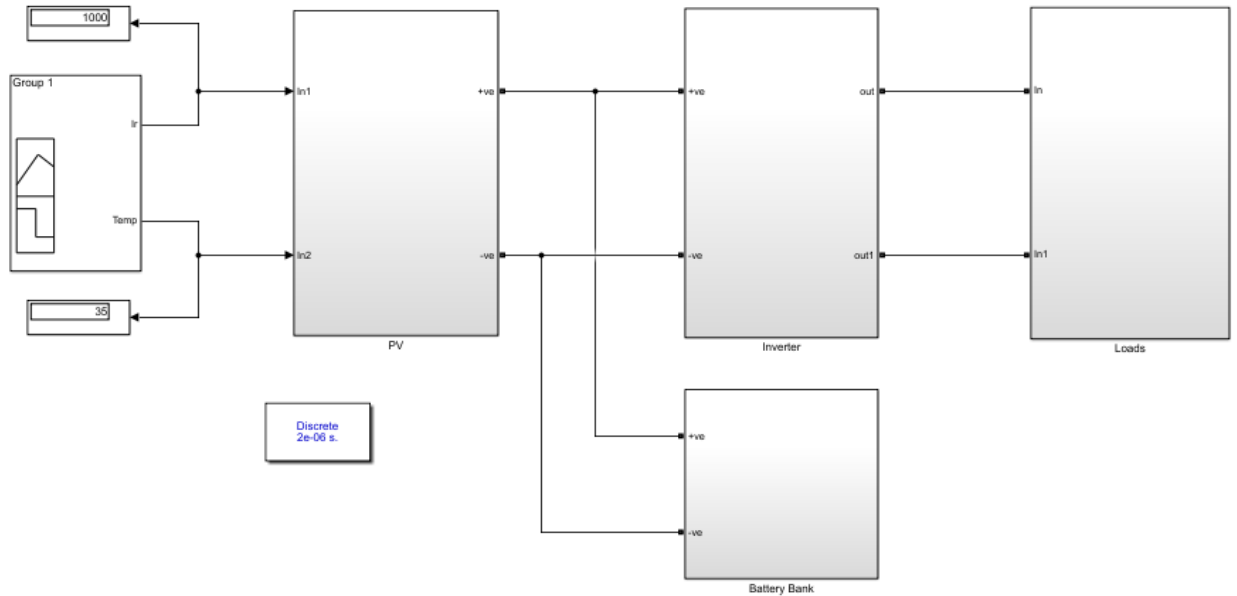


Рисунок 3.15 - Загальна схема фотоелектричної системи

3.9.1 Моделювання фотоелектричної системи зі змінним резистивним навантаженням

На рис. 3.16 показано підключення навантаження до фотоелектричної установки. Навантаження представлено резистивним навантаженням потужністю $P=1000$ ВА, доданим до іншого навантаження R . Після моделювання отримано залежність від опору навантаження вихідного струму і напруги, як показано на рис. 3.17.

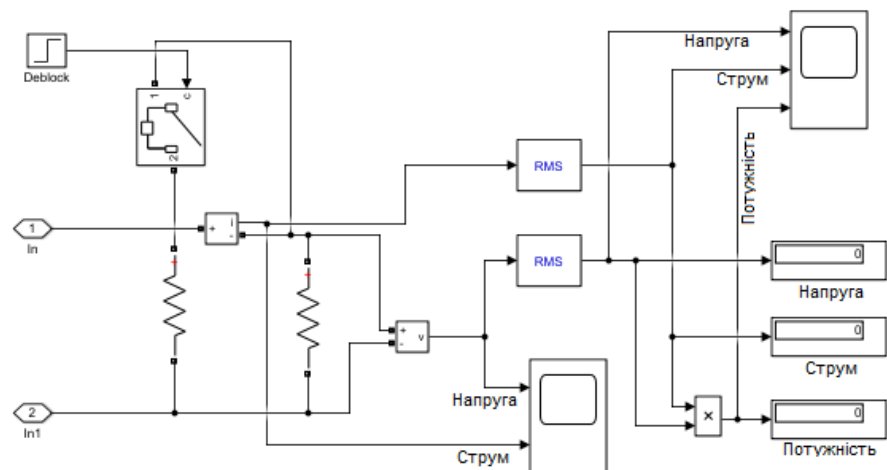
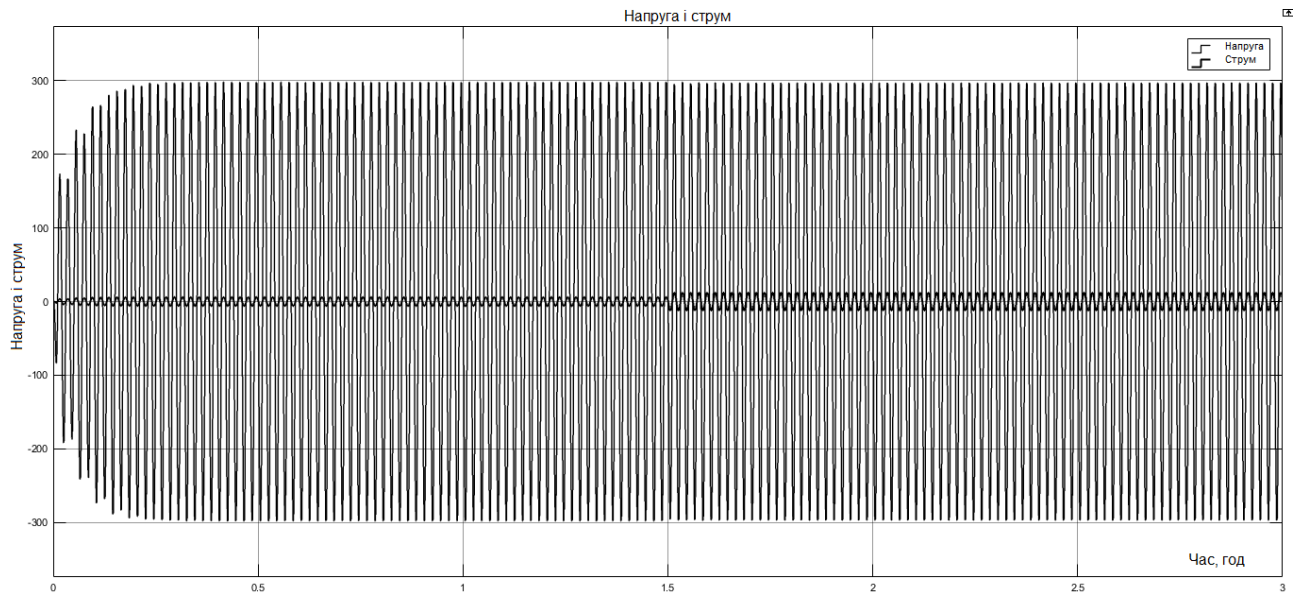
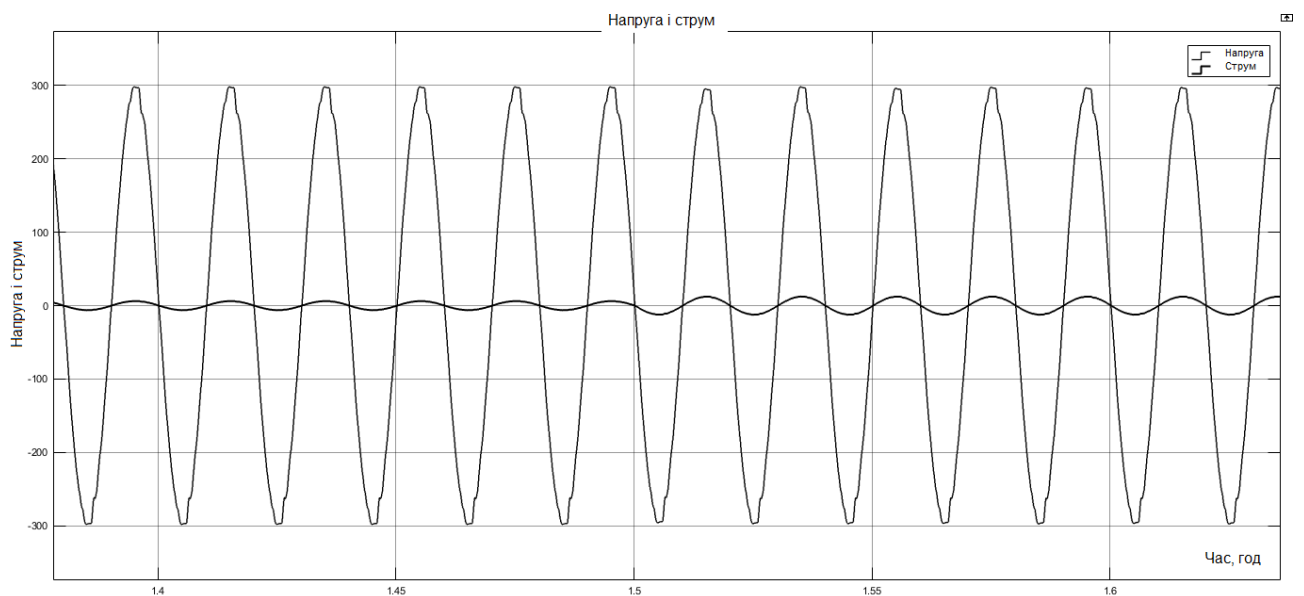


Рисунок 3.16 - Підключення резистивного навантаження до фотоелектричної установки



а)



б)

Рисунок 3.17 - Вихідна напруга та струм навантаження: а – перехідний процес вмикання навантаження, б – змаштабована осцилограма

На рис. 3.18 показано значення загального коефіцієнта гармонік (THD), який є мірою близькості за формою між формою сигналу та його основною складовою, вихідної змінної напруги з резистивним навантаженням. На рис.3.19 показано середньоквадратичне значення вихідної напруги та струму при зміні резистивного навантаження.

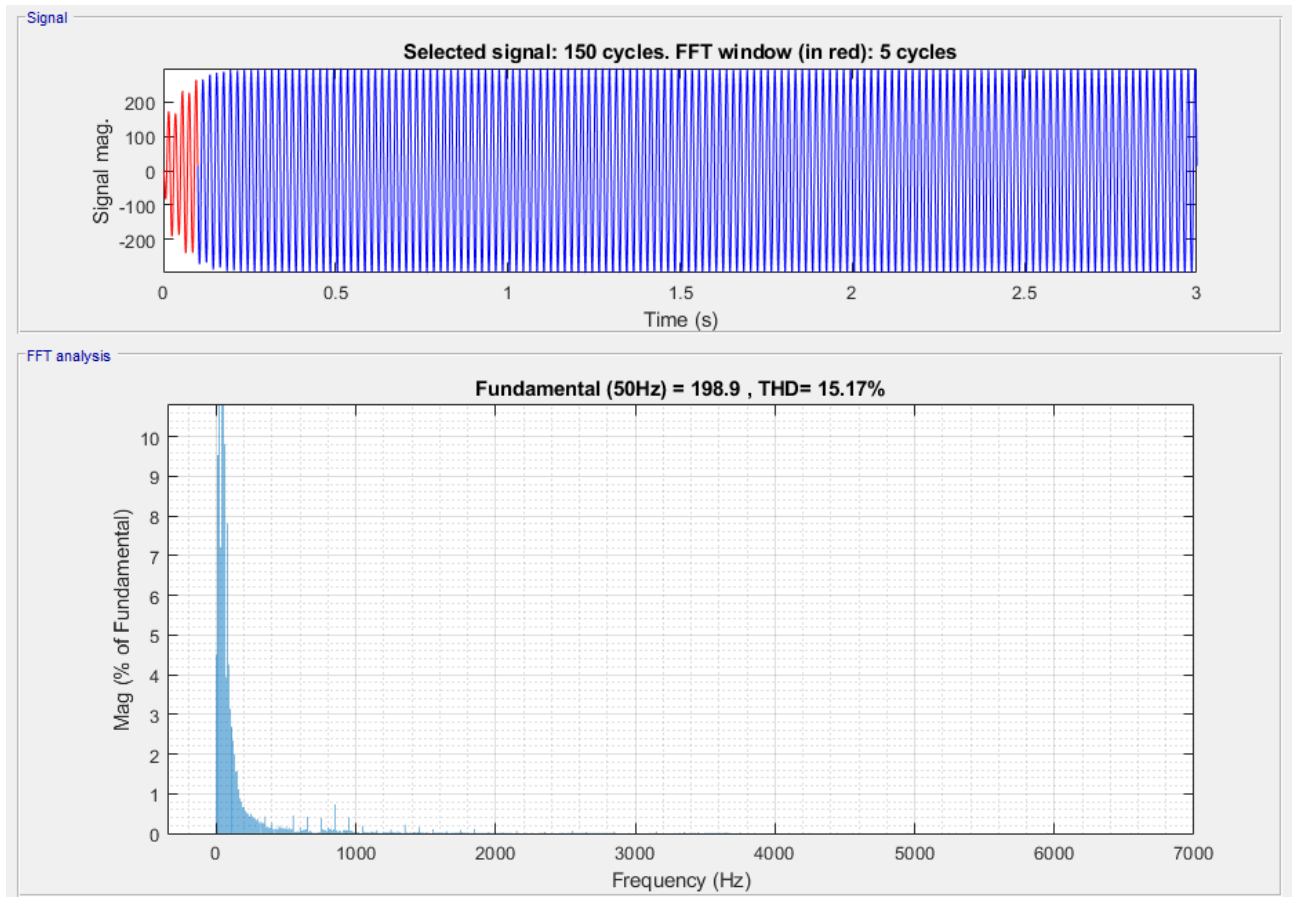


Рисунок 3.18 - Загальний коефіцієнт гармонік резистивного навантаження

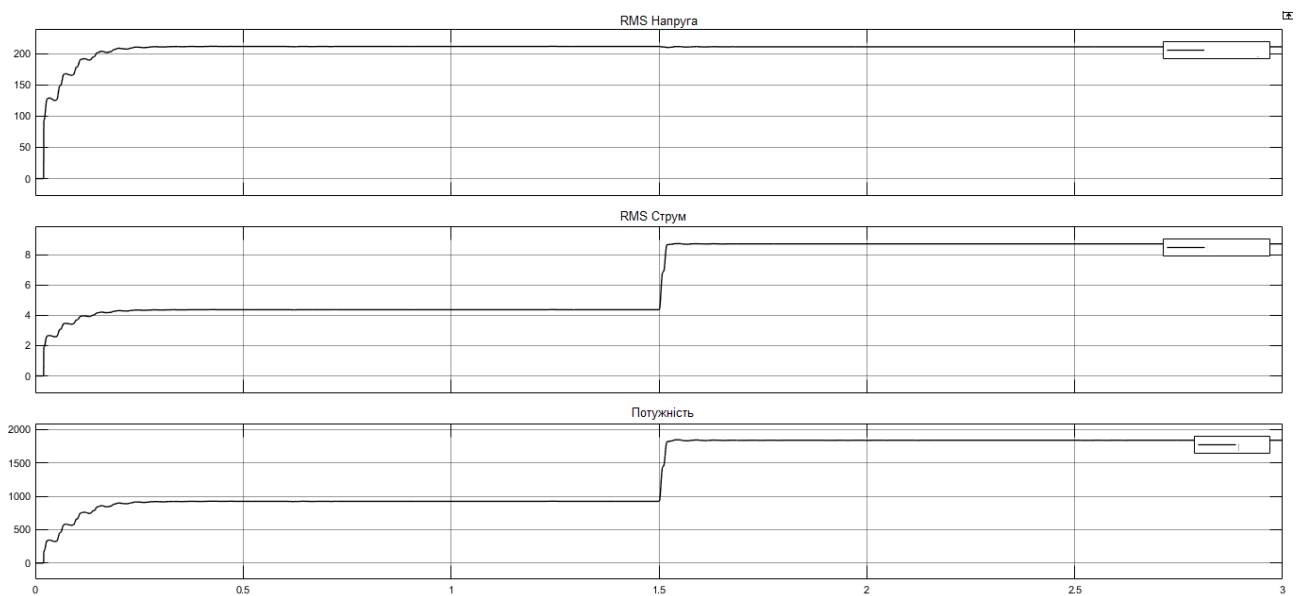
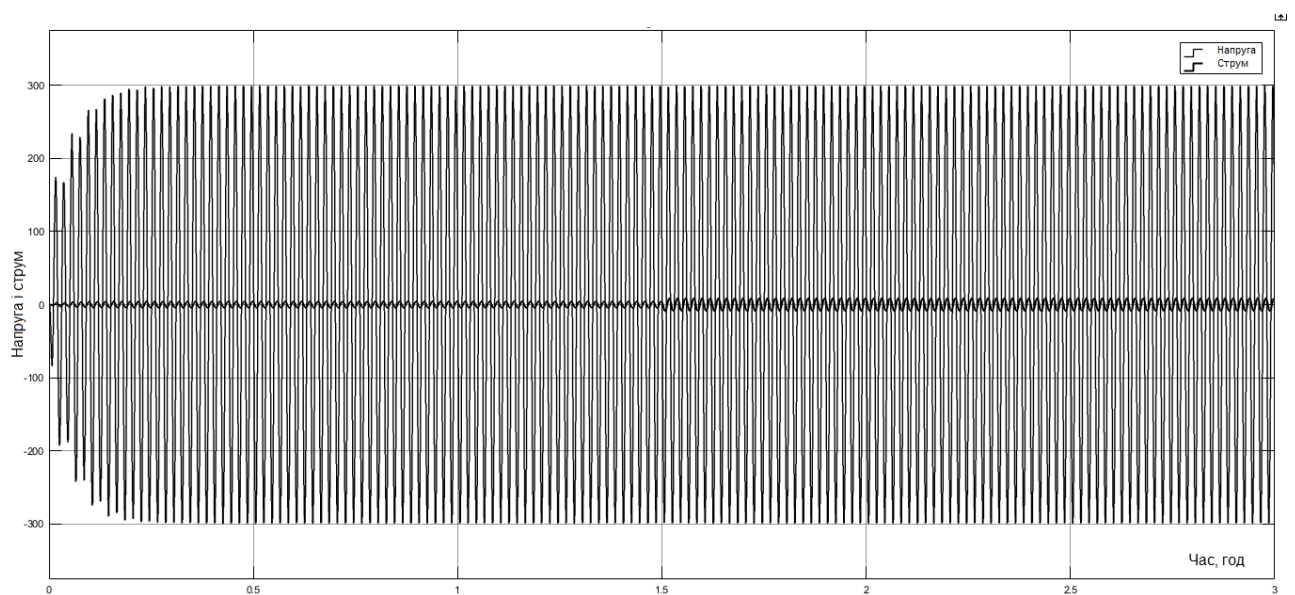


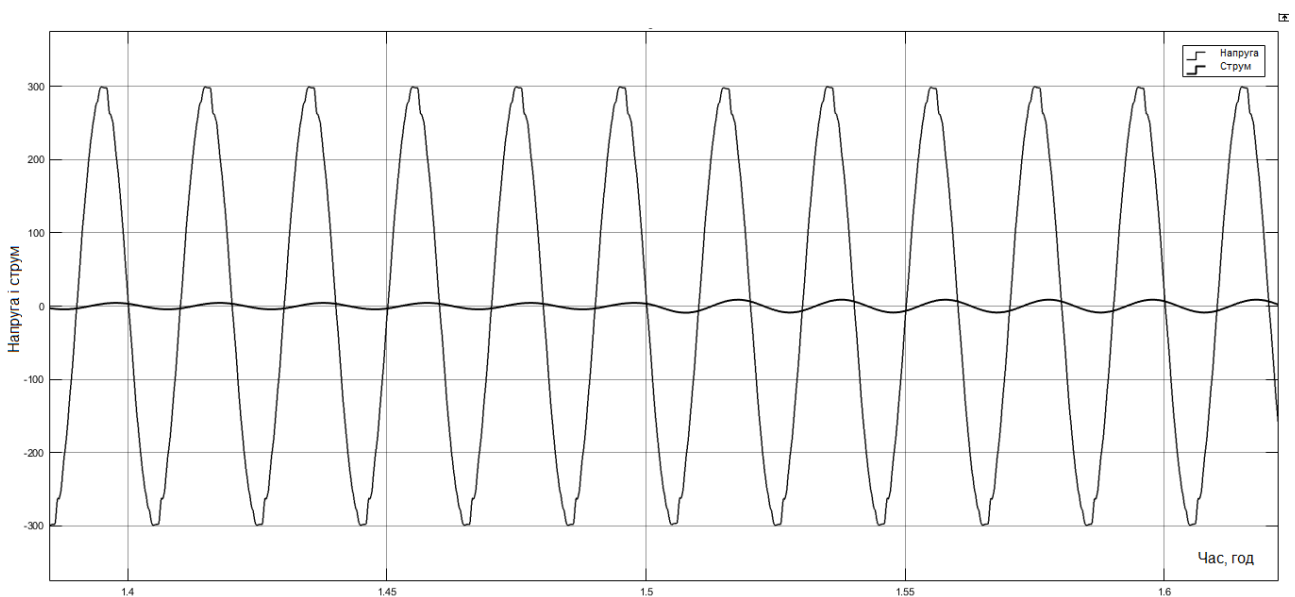
Рисунок 3.19 - Середньоквадратичне значення вихідної напруги та струму з резистивним навантаженням

3.9.2 Моделювання фотоелектричної системи з індуктивним навантаженням

Як показано на рис.3.15 ми замінено резистивне навантаження на індуктивне з активним опором $R_L = 500 \text{ ВА}$ і індуктивним $Q = 500 \text{ ВАР}$, таким чином, на рис.3.20 вихідна напруга змінного струму з індуктивним навантаженням і струм відстають від напруги на кут $\theta = 45^\circ$.



а)



б)

Рисунок 3.20 - Вихідна напруга і струм при індуктивному навантаженні: а – перехідний процес вмикання навантаження, б – змаштована осцилограма

На рис.3.21 показано значення загального коефіцієнта гармонік (THD) з індуктивним навантаженням.

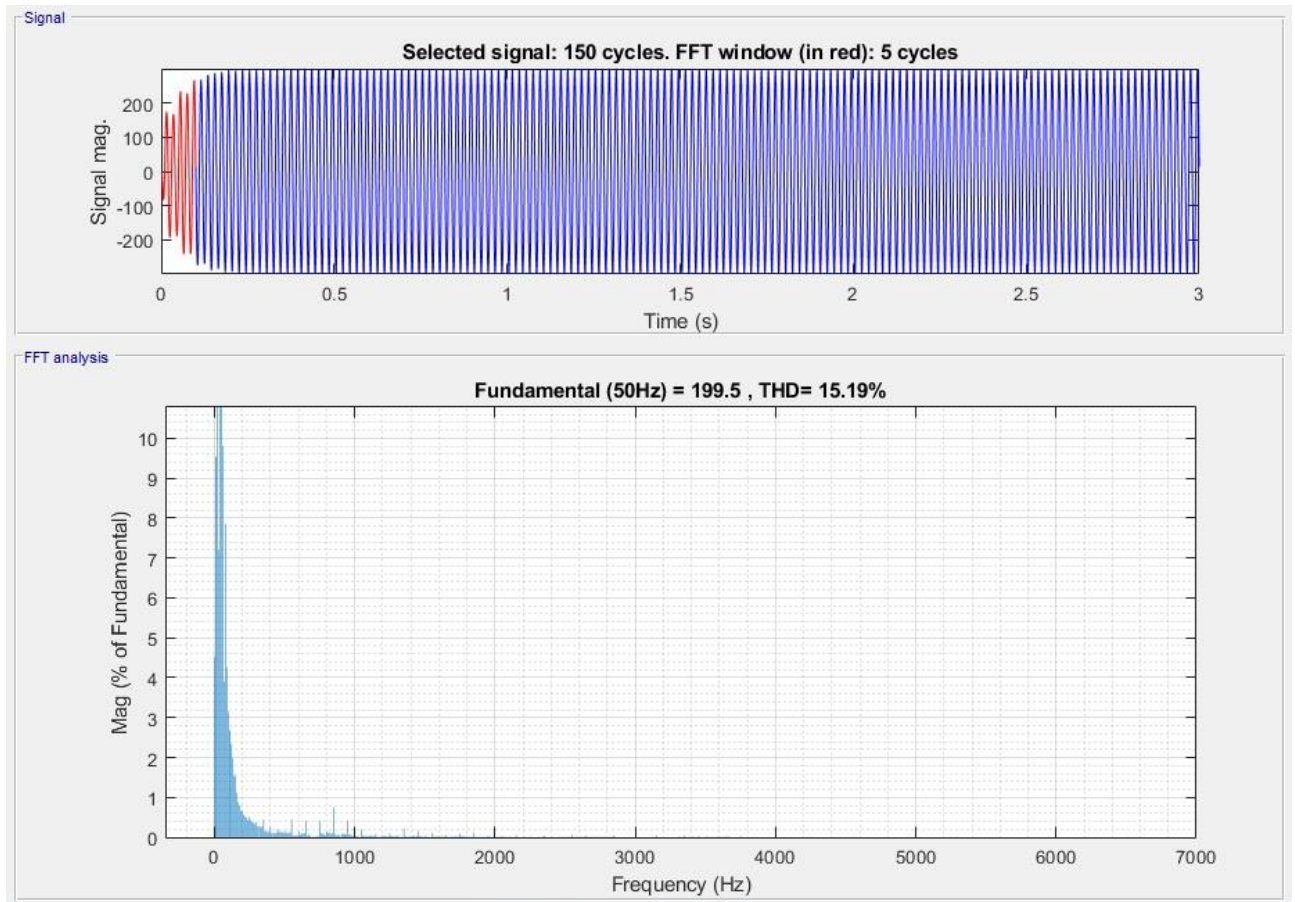


Рисунок 3.21 - Загальний коефіцієнт гармонік індуктивного навантаження

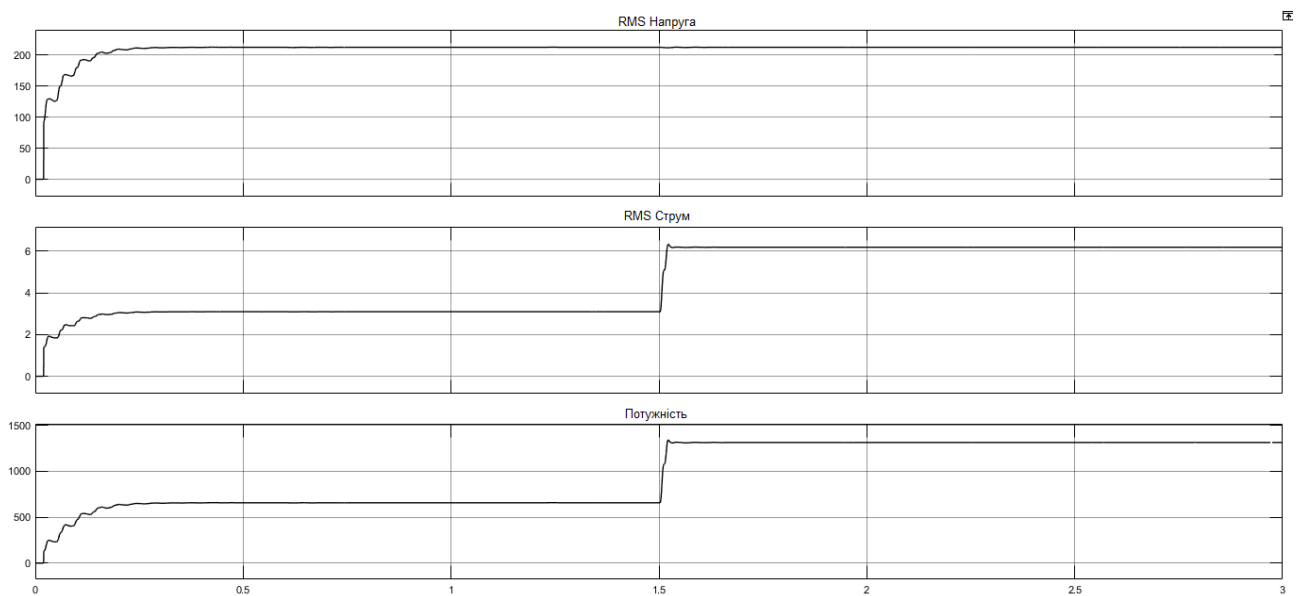


Рисунок 3.22 - Середньоквадратичне значення вихідної напруги та струму з індуктивним навантаженням

3.10 Монтаж компонентів фотоелектричної системи

Як показано на рис.3.23 компоненти фотоелектричної системи, змонтовані на електроізоляційній поверхні.

До компонентів фотоелектричної системи, що розташовані на стенді входять:

1. Інвертор.
2. MPPT контролер заряду.
3. Розетки змінного струму.
4. Автоматичний вимикач постійного струму для акумулятора.
5. Автоматичний вимикач постійного струму для фотоелектричних панелей.
6. Кабелі для під'єднання акумулятора і фотоелектричних панелей.



Рисунок 3.23 – Зовнішній вигляд компонентів фотоелектричної системи

На фото з рис.3.23 не показані фотоелектричні панелі, оскільки вони змонтовані на даху будинку і акумуляторні батареї тому що вони габаритні і змонтовані у спеціальній вентиляційній шафі.

3.11 Висновки до розділу

1. Проведено аналіз використання програмного забезпечення для чисельних обчислень і моделювання при проектуванні та розрахунку систем відновлюваної енергетики.
2. Описано фотоелектричну систему, для живлення навантаження потужністю до 2 кВт та особливості налаштування з'єднання фотоелектричних панелей MATLAB.
3. Наведено блок-схему алгоритму IC MPPT і модель фотоелектричного модуля який працює з контролером із технологією MPPT побудованих за допомогою MATLAB/SIMULINK.
4. Виконано моделювання зміни характеристик фотоелектричного модуля з контролерами з функцією MPPT і без неї.
5. Наведено модель інвертора в MATLAB/SIMULINK. Отримано графіки у MATLAB для синусоїдальної широтно-імпульсної модуляції та осцилограму вихідної напруги з інвертора.
6. Виконано імітаційне моделювання фотоелектричної системи зі змінним резистивним навантаженням та з індуктивним навантаженням. Отримано осцилограми перехідних процесів при вмикання цих навантажень.
7. В результаті проведеного імітаційного моделювання можна зробити висновок, що вибрані параметри фотоелектричної системи повністю задовольняють потреби в електроживленні споживачів з активним і реактивним характером навантаження. Дану систему можна використовувати у період блекаутів, оскільки вона має акумулятор.

8. Запропоновано варіант монтажу усіх складових системи для електропостачання будинку із навантаженням до 2 кВт.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Основні вимоги безпеки до улаштування та експлуатації технологічного обладнання

Загальні вимоги безпеки до конструкції виробничого обладнання встановлені ДНАОП.

Безпека виробничого обладнання забезпечується[16]:

- при проектуванні - дотриманням принципів технологічності і ергономічності конструкції, застосуванням раціональних кінематичних схем, принципу безперервності процесу, дистанційного або автоматичного управління, забезпеченням запобіжними та захисними системами;
- при виготовленні - застосуванням сучасних технологій машинобудування, дотриманням передбачених допусків та посадок;
- при збірці та монтажі - точним дотриманням технології;
- при експлуатації - своєчасним обслуговуванням та профілактичними оглядами, дотриманням експлуатації, тощо.

Виробниче обладнання має бути пожежо- і вибухобезпечним. Воно не повинно створювати небезпеки в результаті дії вологості, сонячної радіації, механічних коливань, високих і низьких тисків і температур, агресивних речовин і мікроорганізмів.

Важливою умовою безпечної експлуатації обладнання є дотримання вимог санітарних норм і правил, галузевих стандартів і правил техніки безпеки щодо розмірів виробничих приміщень, галерей і тунелів, мінімальної висоти до низу виступаючих будівельних конструкцій, ширини проходів.

Рухомі частини обладнання, що є джерелом небезпеки, повинні бути огорожені, за виключенням частин, огороження яких не допускається за їх функціональним призначенням. У цих випадках передбачається сигналізація, що попереджує про пуск машин в роботу, засоби зупинки і відключення джерел

енергії. При наявності машин значної довжини (наприклад, транспортерів) засоби зупинки повинні розміщуватись не рідше як через кожні 10 м їх довжини.

Елементи конструкцій виробничого обладнання не повинні мати гострих кутів, кромок і поверхонь з нерівностями, що становлять собою джерело небезпеки, якщо їх наявність не визначається функціональним призначенням обладнання.

Конструкція обладнання повинна виключати можливість випадкового дотику працюючих до гарячих і переохолоджених частин. Виділення і поглинання обладнанням тепла, а також виділення їм вологи у виробничих приміщеннях не повинно перевищувати гранично допустимі! рівні (концентрації) в межах робочої зони.

4.2 Сигнально-попереджувальні пристрої і фарбування обладнання

Для попередження про небезпеку застосовують звукові, світлові і кольорові сигнали. Сигнальні пристрої встановлюються в зонах видимості і слухового відчуття обслуговуючого персоналу. Сигнали небезпеки повинні чітко сприйматися у виробничій обстановці [17].

Нормативами визначаються сигнальні і розпізнавальні кольори. Основними сигнальними кольорами є червоний - забороняючий, засвідчуючий про безпосередню небезпеку, жовтий - зосереджуючий увагу і попереджуючий про можливу небезпеку і зелений - означаючий безпеку.

Розпізнавальними кольорами вважають зелений, червоний, синій, жовтий оранжевий, фіолетовий, коричневий, сірий.

Розпізнавальні кольори наносять на технологічне підйом-но-транспортне обладнання, трубопроводи, елементи будівельних конструкцій та інші споруди.

Сигнально-попереджувальним фарбуванням (жовтими і чорними смугами) відмічаються елементи будівельних конструкцій і міжцехового транспорту. Так, жовто-чорною смугою позначаються низькі балки, виступи і

перепади у площині підлоги, краю люків і колодязів, кабіни і перила кранів, вантажні гаки, бічні поверхні електрокарів, навантажувачів, візків, стріл автокранів.

4.3 Особливості проведення рятувальних та інших невідкладних робіт при ліквідації наслідків великих виробничих аварій і катастроф

Кожна конкретна аварія викликається сукупністю ряду причин і несприятливих факторів. Аналіз показує, що аварії виникають, головним чином, у результаті слабкої навченості персоналу, допущеної недбалості, порушенні технологічного процесу виробництва і правил техніки безпеки. Вивчення причин аварій і всебічна оцінка ступеня небезпеки дозволяють правильно визначити заходи щодо їх попередження, передбачити необхідні заходи захисту людей і зниження збитків [18,19].

Основними заходами щодо ліквідації наслідків великих аварій є: оповіщення про небезпеку робітників та службовців, формувань ЦО і населення, що проживає поблизу об'єкта; комплексна розвідка об'єкта, на якому відбулася аварія; порятунок людей з-під завалів, зі зруйнованих і пошкоджених будинків та споруд, надання медичної допомоги постраждалим і евакуація їх у лікувальні установи; гасіння пожеж; локалізація аварій на комунально-енергетичних мережах, які перешкоджають веденню рятувальних робіт; улаштування проїздів і проходів до місць аварій; обвалування нестійких конструкцій, розбирання завалів, демонтаж збереженого устаткування, якому загрожує небезпека; організація комендантської служби.

Швидке проведення рятувальних робіт і оперативна ліквідація наслідків аварії вимагають значних сил і засобів, для цих цілей залучаються спеціальні (об'єктові) і територіальні формування загального призначення і служб.

При ліквідації наслідків виробничих аварій застосовуються інженерна й інша спеціальна техніка: крани, бульдозери, екскаватори, компресорні станції, самоскиди. Важкі тягачі з тросами для розтягування і розведення великих

залізобетонних конструкцій, вертольоти великої вантажопідйомності і металорізальні установки.

Використовуються також засоби малої механізації: домкрати, лебідки, мотопилки, гасорізи, електронасоси й ін.

Рятувальні роботи в місцях аварії, як правило, проводяться в умовах загазованості, а при пожежах задимленості і високих температур; щоб забезпечити безперервність роботи з наростаючим темпом, сили ЦО поділяють на зміни і виділяють резерви.

У залежності від характеру і масштабу аварії керівництво ліквідацією наслідків здійснює або керівник даного підприємства, який є одночасно і начальником ЦО, або голова спеціально створюваної надзвичайної комісії. На кожну ділянку призначається керівник з числа відповідальних посадових осіб об'єкта або керівників ЦО і фахівців служб ЦО. Він повинен поставити завдання формуванням, вказати терміни і способи їх виконання, визначити порядок матеріального, технічного й інших видів забезпечення, організувати роботи, своєчасну зміну, відпочинок і харчування особового складу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз структури та компонування фотоелектричної системи та встановлено їх основні типи та можливості застосування. В результаті аналізу літературних даних, сформульовано основні переваги та недоліки фотоелектричних систем для виробництва електроенергії та електропостачання об'єктів.
2. Обґрунтовано вихідні характеристики фотоелектричної системи та вплив на них зовнішніх факторів.
3. Виконано обґрунтування та вибір типу акумуляторів, розраховано їх кількість та ємність. Описано вимоги до експлуатації акумуляторних систем накопичення електроенергії. Зазначено особливості їх послідовного та паралельного з'єднання.
4. Описано призначення та функціональні можливості контролера акумуляторної батареї у фотоелектричній системі.
5. Проведено аналіз принципу роботи та характеристик інвертора, як одного із головних складових фотоелектричної системи.
9. Виконано імітаційне моделювання фотоелектричної системи зі змінним резистивним навантаженням та з індуктивним навантаженням. Отримано осцилограми перехідних процесів при вмикання цих навантажень.
6. В результаті проведеного імітаційного моделювання можна зробити висновок, що вибрані параметри фотоелектричної системи повністю задовольняють потреби в електроживленні споживачів з активним і реактивним характером навантаження. Дану систему можна використовувати у період блекаутів оскільки вона укомплектована незалежним джерелом живлення та акумулятором.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Фарина О. Р. Відновлювальні джерела енергії як шлях для надійного електропостачання // А. С. Беднарівський; Р. В. Волошин; О. Р. Фарина; О. Р. Джигринюк / Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. – С. 164.

2. 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.

3. 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

4. Коваль В. Залежність енергоефективності сонячних елементів від експлуатаційних факторів / В. Коваль // Збірник тез доповідей XVII наукової конференції ТНТУ ім. Івана Пулюя, 20-21 листопада 2013 року. — Т. : ТНТУ, 2013. — Том I : Природничі науки та інформаційні технології. — С. 53.

5. 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

6. Коваль В. П. Автоматизована вимірювальна установка для дослідження електричних характеристик фотоелектричних модулів/ В. П. Коваль, Б.Я. Оробчук, Л.М. Костик, Я.М.Осадца// Вісник Хмельницького національного університету. – 2022. – № 5. – С. 168-173.

7. 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

8. 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.

9. Abulkibash, A. M., Koken, M. E., Khaled, M. M., & Sultan, S. M. (2000). Differential electrolytic potentiometry, a detector in flow injection analysis for oxidation–reduction reactions. *Talanta*, 52(6), 1139-1142.

10. Schmidt-Rohr, K. (2018). How batteries store and release energy: Explaining basic electrochemistry. *Journal of chemical education*, 95(10), 1801-1810.

11. Crompton, T.R. (20 March 2000). *Battery Reference Book* (third ed.). Newnes. p. Glossary 3. ISBN 978-0-08-049995-6. Retrieved 18 March 2016.

12. Hankins, M. (2010). *Stand-alone solar electric systems: the earthscan expert handbook for planning, design and installation*. Earthscan.

13. Mayfield, Ryan. 2010. *Photovoltaic Design and Installation for Dummies*, Wiley Publishing Inc.

14. Boxwell, M. (2010). *Solar electricity handbook: A simple, practical guide to solar energy-designing and installing photovoltaic solar electric systems*. Greenstream publishing.

15. 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 (ITTAР 2023).

16. 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.

17. Гандзюк, М. П. Основи охорони праці [Текст] : підручник / М. П. Гандзюк, Є. П. Желібо, М. О. Халімовський ; за ред. М. П. Гандзюка ; МОН України. – 4-е видання. – К. : Каравела, 2008. – 384 с.

18. Стеблюк М.І. Цивільна оборона та цивільний захист: Підручник. – 2-ге вид., перероб. Затверджено МОН / М.І. Стеблюк.– К., 2010. – 487 с

19. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «цивільна безпека»/ автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.