

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації,
електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

О.Ю. Колларов

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 2020 р.

Дипломна робота

магістра

(освітній ступінь)

на тему Оптимізація ККД автономної установки електроживлення із
фотоелектричними елементами у якості джерела

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕЛКМ-19

(шифр групи)

напряму підготовки (спеціальності) 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Мамедов А.Т.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник проф. каф. ЕлІн, д.т.н., с.н.с Тімошенко С. М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент:

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
 запозичень з праць інших авторів без
 відповідних посилань.*

Студент _____

(підпис)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації,
електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: магістр

Спеціальність: (141) електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (Колларов О. Ю.)

« ____ » _____ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Мамедову Андрію Тагіровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Оптимізація ККД автономної установки
електроживлення із фотоелектричними елементами у якості джерела

керівник роботи Тімошенко С. М., проф. каф. ЕлІн, д.т.н, с.н.с.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ №

2. Строк подання студентом роботи 07 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи: Автономна установка електрожив-
лення складається із навантаження у вигляді насоса із приводом змінного
струму потужністю 10 кВт, перетворення напруги потужністю 12 кВт,
блока акумуляторних батарей, регуляторів та джерела живлення на базі
фотоелектричних елементів сумарною потужністю 15 кВт.

Інші параметри обрати довільно.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які
потрібно розробити) 1. Огляд методів застосування відновлюваних джерел
та розподіленої генерації у системах електропостачання.

2. Розрахунок автономної установки електроживлення з
фотоелектричними елементами та доступних способів акумуляції енергії.

3. Пошук шляхів відстеження та розробка інтелектуальної системи
керування пошуку максимальної споживаної потужності.

4. Моделювання роботи фотоелектричного модуля.

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

Десять слайдів презентаційного матеріалу

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Біла Н. С.		
Розділи 1, 2	Колларов О. Ю.		

7. Дата видачі завдання 16 вересня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд методів застосування відновлюваних джерел та розподіленої генерації у системах електропостачання.	16.09.2020 – 04.10.2020	
2.	Розрахунок автономної установки електроживлення з фотоелектричними елементами.	05.10.2020 – 18.10.2020	
3.	Огляд доступних способів акумуляції енергії, отриманої від відновлюваних джерел.	19.10.2020 – 31.10.2020	
4.	Пошук шляхів відстеження максимальної споживаної потужності.	01.11.2020 – 05.11.2020	
5.	Розробка інтелектуальної системи керування пошуку максимальної споживаної потужності.	06.11.2020 – 27.11.2020	
6.	Моделювання роботи фотоелектричного модуля.	28.11.2020 – 04.12.2020	
7.	Огляд питань охорони праці	05.12.2020 – 07.12.2020	

Студент

(підпис)

Мамедов А.Т.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Тімошенко С. М.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Мамедов А.Т. Оптимізація ККД автономної установки електроживлення із фотоелектричними елементами у якості джерела / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня «магістр» за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2020.

Дипломна робота складається зі вступу, основної частини, яка включає чотири розділи, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У першому розділі наведено огляд можливості електроживлення від альтернативних джерел енергії, зазначені переваги та недоліки традиційних та альтернативних систем електропостачання, визначені актуальність питання, мета і задачі роботи.

У другому розділі були оглянуті умови для впровадження автономної установки електроживлення з фотоелектричними елементами та здійснено її розрахунок – були обрані окремі елементи системи, тип та типорозмір обладнання.

У третьому розділі наведено теоретичне підґрунтя для пошуку можливості відстежування точки максимальної потужності фотоелектричного модуля та розроблена інтелектуальна система пошуку рішення поставленої задачі.

У четвертому розділі здійснено моделювання роботи фотоелектричного модуля.

Ключові слова: традиційні системи електропостачання, альтернативні джерела енергії, розподілена генерація, автономна установка електроживлення, фотоелектричний елемент, точка максимальної потужності.

SUMMARY

Mamedov A. Optimization of efficiency of autonomous power supply installation with photovoltaic elements as a source / Graduation qualifying work for obtaining an educational level "master" in specialty 141 Electricity, electrical engineering and electromechanics. – DVNZ DonNTU, Pokrovsk, 2020.

Thesis consists of an introduction, the main part, which includes four sections, conclusions, a list of sources and appendices.

The first section provides an overview of the possibility of power supply from alternative energy sources, the advantages and disadvantages of traditional and alternative power supply systems, identifies the relevance of the issue, purpose and objectives of the work.

In the second section, the conditions for the introduction of an autonomous power plant with photovoltaic cells were reviewed and its calculation was performed - individual elements of the system, type and size of equipment were selected.

The third section provides a theoretical basis for finding the possibility of tracking the point of maximum power of the photovoltaic module and developed an intelligent system for finding a solution to the problem.

In the fourth section, the simulation of the photovoltaic module is performed.

Key words: traditional power supply systems, alternative energy sources, distributed generation, autonomous power supply installation, photovoltaic cell, maximum power point.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	9
1 ОГЛЯД МОЖЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ВІД АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	11
1.1 Актуальність питання, мета і задачі роботи	11
1.2 Огляд переваг та недоліків традиційних систем електропостачання	12
1.3 Методи застосування розподіленої генерації у системах електропостачання	15
1.4 Висновки до розділу	16
2 РОЗРАХУНОК АВТОНОМНОЇ УСТАНОВКИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ	18
2.1 Огляд умов для впровадження автономної установки електроживлення з фотоелектричними елементами	18
2.2 Огляд доступних способів акумуляції енергії, отриманої від відновлюваних джерел	20
2.3 Створення системи автономного живлення	25
2.3.1 Вибір окремих елементів системи автономного живлення	26
2.3.2 Розрахунок фотоелектричної установки	30
2.3.3 Вибір типорозміру обладнання автономної фотоелектричної установки	36
2.4 Висновки по розділу	42

3 ПОШУК ШЛЯХІВ ВІДСТЕЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ СПОЖИВАНОЇ ПОТУЖНОСТІ	43
3.1 Теоретичне підґрунтя для пошуку можливості відстежування точки максимальної потужності фотоелектричного модуля	43
3.2 Розробка інтелектуальної системи керування пошуку ТМП	55
3.3 Висновки до розділу	60
4 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО МОДУЛЯ	62
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	71
ДОДАТОК А. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА	74
ДОДАТОК Б. ОГЛЯД ПИТАНЬ БЕЗПЕКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ	84
ДОДАТОК В. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА	92

ВСТУП

Зростаючі вимоги з боку екологічних чинників і екологічного стану вимагають більш широкого використання відновлюваних джерел енергії – сонячної та вітрової.

Досвід останніх років у побуті та промисловості показав, що вітряні та фотоелектричні системи стали гарною альтернативою мережевому електропостачанню для задоволення потреб у електричній енергії.

При певних умовах використання сонячних та вітрових систем з акумуляторами є досить гарним варіантом для складення автономних систем електропостачання, особливо у разі відсутності централізованого енергопостачання, що дозволяє отримати високу надійність енергопостачання.

З огляду на непостійність зовнішніх впливів (зокрема, атмосферних умов) поведінку як сонячних, так вітрових систем складно прогнозувати, що впливає на надійність живлення. підвищити надійність цих систем наразі й можливо за допомогою використання акумуляторних батарей.

Для більш ефективного та економічного використання ресурсів сонячної та вітрової енергії на передній план виходять визначення оптимальних розмірів систем – площі сонячних полів, висоти та розміру пропелерів вітрогенератора, кількості та загальної потужності акумуляторних батарей та інше.

Проведені дослідження пропонують різноманітні методи оптимізації роботи систем, що використовують відновлювальні джерела енергії, – використання електронних пристроїв, динамічне програмування, використання енергозберігаючих споживачів та інше.

Гарним підґрунтям для широкого впровадження автономних систем живлення є бурхливий розвиток у останні роки засобів силової електроніки, що дозволяє істотно поліпшити характеристики систем, що

розглядаються. Такого ж розвитку зазнали і малопотужні електроприймачі постійного струму (світлодіодні лампи, вторинні джерела живлення гаджетів, телевізорів та інше).

Збільшення частки споживачів постійного струму у порівнянні з часткою споживачів змінного струму, ставить виклики загальній структурі електроенергетики. Це можливо лише завдяки розробці математичних моделей системи з відновлюваними джерелами енергії. Під час моделювання необхідно враховувати потужності джерела та накопичувальну потужність. Застосована у створених моделях методологія їх будови повинна бути спрямована на пошук оптимальної конфігурації серед набору робочих компонентів системи, що також відповідає бажаним вимогам надійності системи.

1 ОГЛЯД МОЖЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ВІД АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

1.1 Актуальність питання, мета і задачі роботи

Актуальність застосування електричного живлення від альтернативних джерел енергії обумовлена різними чинниками [1]:

- необхідність забезпечення електроенергетичної незалежності споживача, зважаючи на те, що у разі застосування централізованого живлення є вірогідність переривання постачання енергії через аварійні ситуації навіть не з вини споживача, вплив природних явищ або економічних чинників,
- можливість заощадження коштів та вибір необхідного значення потужності, виходячи з вимог споживання,
- зменшення або виключення втрат енергії на транспортування електричної енергії,
- можливість зменшення викидів і забруднення навколишнього середовища.

Основою традиційних методів виробки електричної енергії є перетворення запасеної у викопних паливах (вугіллі, нафті, газі та іншому) енергії, і централізованої подачі результатів цього перетворення (безпосередньо електричної енергії) за допомогою розподільчих електричних мереж. Основним недоліком даної технології є суттєве забруднення довкілля продуктами згорання та викиди некомпенсованої теплової енергії, наявні значні втрати енергії при транспортуванні, іноді нестійка робота та знижена надійність електропостачання [2].

Альтернативою традиційному виробленню енергії у теперішній час можуть стати технології перетворення енергії сонця чи вітру в теплову та/або електричну енергію. Переваги даної технологія полягають у тому, що виробляючі та перетворювальні пристрої можуть розташовуватися у

безпосередній близькості до споживача, а їхня кількість залежить лише від потреб енергопостачання та необхідних параметрів надійності роботи системи [3].

Застосування даних технологій дозволяють розроблювати проекти живлення різноманітних об'єктів, що обумовлює мету та задачі роботи.

Мета роботи – розробка систему автономного живлення для надійного та економічно-обґрунтованого електропостачання технологічного об'єкта.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- здійснити аналіз сучасних тенденцій розвитку електроенергетики та оглянути сучасні системи електропостачання технологічних об'єктів,
- проаналізувати можливість використання відновлюваних джерел у якості основного джерела електропостачання,
- розробити проект електропостачання технологічного об'єкта,
- визначити заходи для пошуку можливостей максимальної виробки електричної енергії,
- перевірити розроблені технічні рішення за допомогою моделювання з використанням прикладних програм.

1.2 Огляд переваг та недоліків традиційних систем електропостачання

Сьогодення з огляду на енергетичну доктрину характеризується наступними чинниками: стрімке зростання обсягів споживання енергії, критичний стан із забрудненням навколишнього середовища та можливість незворотних зміни клімату на планеті [4].

Подальше нарощування потужностей з виробки електричної енергії стикається з серйозними перешкодами – екстенсивність процесу

нарощування енергетичного потенціалу на кожну одиницю виробленої потужності вимагає експоненціально зростаючих капіталовкладень, а несприятливі техногенні впливи збільшуються [4].

Для пошуку рішення даної проблеми потрібен пошук рішень з альтернативного споживання, при якому споживачі самі можуть продукувати енергію на місці споживання, з використанням «розумних» мереж для пошуку способів максимізації виробки та споживання енергії, регулювання балансу виробітку та споживання й розподілу надлишків. При цьому зменшується навантаження на природне середовища, мінімізуються втрати на передачу енергії, досягаються високі параметри керування процесами.

Сучасні тенденції у організації інформаційних процесів поступово призводять до кардинального переформатування енергетичного простору, а запорукою цього процесу є зростаюча у енергетичному секторі частка розподіленої генерації.

Енергетична система нашої країни будується на принципах великомасштабного централізованого виробництва енергії з викопних палив на великих ТЕС, АЕС та ГЕС з подальшою передачею енергетичних ресурсів розгалуженими мережами до крупних і дрібних споживачів. Відновлювальні джерела енергії у теперішній час пристосовуються до вимог традиційної енергетики та намагаються «вписатися» до існуючої системи енергозабезпечення. Виробництво електричної енергії на місцевому рівні у безпосередній близькості до споживачів забезпечує більш вигідні та технічно досконалі системи [4].

Системи електропостачання мають ряд ознак, які полягають у тому, що дані мережі є складовою частиною розподільних мереж енергетичних систем. Ці системи до цього часу не містили власних джерел енергії, тепер ця ситуація змінилася у зв'язку з поширенням так званої розподіленої генерації – малих джерел електроенергії, що підключаються до відповідних вузлів розподільної мережі [5].

Централізовані системи електропостачання характеризуються значною щільністю вузлів навантаження, що обумовлюється складністю схем заміщення, складністю розрахунків і зменшенням надійності постачання енергії. Електричні мережі систем електропостачання мають кілька рівнів ієрархії, кожному з яких відповідають мережі, що розрізняються за обсягом і типами схем електричних з'єднань, за класом напруги, принципами та об'ємами автоматизованого управління, конструктивним виконанням окремих елементів. Системи електропостачання промислових підприємств характеризуються застосуванням кільцевих, розімкнутих схем електричних з'єднань, лінії електропередач виконано переважно за допомогою кабельних ліній, високим ступенем автоматизації [6].

При дослідженні систем електропостачання необхідно враховувати усі особливості розподільчих мереж:

- пропускну здатність мережі, яка істотно впливає на надійність електропостачання споживачів, роботу обладнання та основні параметри роботи – струм і напругу,
- необхідно передбачати резервування постачання при вимушених відключеннях та виникненні непланових відмов,
- слід враховувати ті обставини, що в мережах з малим часом відновлення живлення величина кількості відпущеної енергії залежить від параметрів і часу відключення,
- наявність різноманіття структур розглянутих систем електропостачання вимагає для їхнього дослідження різних методів і створення різних моделей для різних модифікацій – доцільність цих методів у межах вибраної системи виправдана відмінностями, що є у мережах.
- застосованість тих чи інших методів і моделей живильних мереж обумовлюється структурною надійністю та необхідним рівнем напруги у відповідних вузлах мережі та диференціації показників, що визначаються.

1.3 Методи застосування розподіленої генерації у системах електропостачання

Історія розвитку та становлення централізованого електропостачання йшла шляхом створення потужних електроенергетичних об'єктів і територіально розподілених електроенергетичних систем, що дозволяло досягати високих економічних показників, надійності та якості електропостачання [6].

Зазначені електроенергетичні об'єкти, зокрема теплові електричні станції, розвивались шляхом збільшення одиничної потужності установок та використання більш високих параметрів пари, що вимагало застосування більш досконалих матеріалів конструкцій. Ця тенденція принципово змінилася внаслідок появи високоефективних газотурбінних і парогазових установок. Їхні переваги полягали в отриманні широкого діапазону потужностей, висока готовність до пуску, короткий строк введення в експлуатацію [7].

Уже в останнє десятиліття широкого розповсюдження отримали установки малої енергетики з використанням відновлюваних джерел енергії – вітроенергетичні установки та сонячні установки, що встановлювались безпосередньо біля споживачів і які отримали назву «розподілена генерація».

Серед основних чинників, що призвели до стимулювання розподіленої генерації, можна виділити [8]:

- адаптація до невизначеності при енергопостачанні,
- захист від коливання цін на електроенергію,
- зниження ризиків дефіциту потужності,
- підвищення енергетичної безпеки при постачанні енергією,
- наявність адаптаційних можливостей енергетичних систем до вимог енергоспоживання,

- застосовані апарати більш технологічні та більш наукоємні,
- практично повне забезпечення екологічних вимог.

Можна сказати, що розширення об'ємів розподіленої генерації здатне [8]:

- зменшити навантаження на основну мережу,
- знизити втрати електричної енергії,
- підвищити надійність та стійкість роботи енергетичних систем.

При цьому, необхідно зауважити, що потужності розподіленої генерації стають новими елементами розглянутих вище енергетичних систем. Це викликає необхідність врахування їх динамічних впливів та здатність і можливість керування цими об'єктами. Агрегати розподіленої генерації [8]:

- здебільшого мають змінний режим роботи, який при великих сумарних генеруючих потужностях створює проблемні моменти при управлінні режимами енергетичних систем в цілому,
- необхідно застосування способів та засобів для регулюванні частоти,
- у разі відокремленого живлення є необхідність резервування за потужністю.

1.4 Висновки до розділу

Наявність розподіленої генерації в енергетичних мережах дозволяє доволі стабільно підтримувати визначені рівні напруг у визначених вузлах споживання за рахунок можливостей розподіленої генерації за низьких втрат напруги.

Зазначені генерації мають також вплив на появу і прояв вищих гармонік у системі – загалом прояв цих процесів зменшується. При цьому

збільшуються струми короткого замикання, що впливає на вибір параметрів комутаційних апаратів та апаратів захисту.

Поява у вже функціонуючій системі джерел розподіленої генерації ускладнює її диспетчерське управління – виникає значний ступінь невизначеності режиму роботи під впливом розподіленої генерації через нерівномірність виробки та споживання потужності, а також додатковий масив поточної інформації про роботу того чи іншого обладнання. Неоднозначним також є вплив розподіленої генерації на роботи систем релейного захисту та автоматики через те, що виникають проблеми стійкості.

2 РОЗРАХУНОК АВТОНОМНОЇ УСТАНОВКИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

2.1 Огляд умов для впровадження автономної установки електроживлення з фотоелектричними елементами

У тих випадках коли споживач не має можливості для підключення до централізованих мереж електропостачання або це коштує досить багато та є сприятливі природні умови доцільним є застосування системи автономного електропостачання.

Додатковою умовою, що також виходить з економічної доцільності даних заходів, є необхідність здійснення повномасштабних розрахунків сумарної потужності усіх споживачів електричної енергії і яка не повинна перевищувати відповідного значення.

Серед переваг автономної системи електропостачання можна виділити наступні [9]:

- не має необхідності сплачувати за підключення до мереж централізованого електропостачання і будівництво лінії електропередач,
- відсутня залежність від зростання цін на електроенергію,
- ви є господарем свого обладнання та виробленої енергії,
- виробляєте лише необхідну для вас кількість електричної енергії у той час, коли це потрібно.

Недоліки використання автономної системи енергоживлення [9]:

- це досить коштовне капіталовкладення,
- довгий строк окупності системи,
- необхідно самостійно здійснювати технічне обслуговування і ремонт встановленого обладнання.
- в разі застосування обладнання, що вимагає вуглеводних ресурсів (дизельний або бензиновий агрегати) вимагається постійне поповнення запасів пального,

- необхідний постійний контроль стану акумуляторних батарей та врахування їх «старіння» і зменшення ємності з часом,
- фотоелектричні модулі (сонячні панелі) вимагають періодичного чищення, а параметри їхньої роботи суттєво залежать від зовнішніх природних факторів.

Серед основних джерел електричної енергії автономних систем живлення можна виділити наступні: рідкопаливні генератори (бензинові або дизельні електричні агрегати), вітрогенеруюча установка, фотоелектричні батареї.

У якості найкращих засобів для зберігання електричної енергії систем на поновлюваних джерелах енергії через непостійність поновлювання природного ресурсу, можна розглядати акумуляторні батареї.

Через те, що переважна більшість сучасних споживачів працюють на змінному струмі і розраховані на напругу 220(240) В, а виробка електричної енергії і її зберігання передбачають постійний струм, у розроблюваних системах необхідним є використання інвертора – перетворювача постійного струму в змінний. Найкращим є його встановлення у безпосередній близькості від джерела постійного струму, що дозволить зменшити втрати у проводах з високим постійним струмом і низьким значенням напруги.

Використання акумуляторних батарей вимагає також застосування у системі контролерів заряду для запобігання перезаряду цих батарей.

Через значні перепади виробки енергії з відновлюваних джерел у якості приладів у навантаженні необхідним і обов'язковим є використання лише енергоефективних приладів та обладнання (з категорією електроспоживання A++). Звісно, енергоефективні прилади дорожчі за неенергоефективні аналоги, але їх використання у перспективі може відзначитися значною економією у майбутньому за рахунок зниження встановленої потужності джерела енергії та необхідної ємності акумуляторних батарей.

У фотоелектричних системах у якості джерела використовуються сонячні панелі, які в змозі перетворити сонячне випромінювання у електричний струм. З'єднані відповідним чином сонячні панелі виробляють постійний струм, який можна або зберігати у акумуляторних батареях без перетворення або направляти для електропостачання споживачів після перетворення у змінний струм за допомогою інвертора. Використання сонячних панелей вимагають застосування регуляторів з метою оптимізації виробництва енергії та захисту сонячних елементів від перевантаження. Крім того, автономна система дозволить здійснити централізоване регулювання напруги і частоти та збільшити потужність споживання [10].

2.2 Огляд доступних способів акумуляції енергії, отриманої від відновлюваних джерел

Ефективна та безперебійна робота систем автономного електропостачання за наявності значних коливань виробки енергії потребує використання установок акумуляування. Тому, акумуляування енергії є одним з найважливіших питань, коли експлуатуються енергетичні системи з відновлюваними джерелами.

Застосування електричних акумуляторів іноді не в змозі вирішити зазначених проблем – вони досить коштовні, мають значні геометричні розміри і мають відносно малу ємність. У якості альтернативи електричним акумуляторам можуть виступати гідроакумуляуючі станції, які дозволяють повернути до енергосистеми до 75% запасеної енергії, яка використовується в основному у години максимального споживання. До їх будівництва та облаштування висуваються досить ретельні вимоги, в основі яких є обов'язкова наявність відповідного рельєфу місцевості.

Іншою альтернативою може стати запасена теплова енергія, що акумулюється речовинами, здатними при нагріванні змінювати свій агрегатний стан, структуру або хімічний склад [11].

Заряджання акумулюючих пристроїв здійснюється у години малого електроспоживання та максимальної виробки енергії від відновлюваних джерел, що призводить до енергетичної стабільності системи з відновлюваними джерелами при споживанні як протягом року так і протягом доби.

Застосування акумуляторних пристроїв в енергосистемах з відновлюваними джерелами дозволяє досягти наступних цілей [11]:

- забезпечення безперебійного енергопостачання споживачів,
- досягнення оптимальних режимів роботи елементів системи за рахунок згладжування коливань напруги (струму),
- можливість перетворення енергії у відповідний вид у відповідності до потреб.

У якості акумуляторних пристроїв акумулювання енергії від відновлювальних джерел доступні до використання [12]:

- електрохімічні (електролітичні) акумулятори,
- водневі акумулятори,
- теплові акумулятори,
- акумулятори на основі фазових переходів,
- акумулятори на основі хімічних реакцій.

Електрохімічні (електролітичні) акумулятори досить добре підходять для роботи з відновлюваними джерелами різного ступеня потужності, особливо в установках невеликої потужності для забезпечення необхідної якості електропостачання.

Найбільш ефективними для систем з фотоелектричними елементами є герметичні нікель-кадмієві та нікель-водневих акумулятори через їхню підвищену екологічність та енергоемність.

Використання теплових акумуляторів повинно бути економічно обґрунтовано з огляду на їхню масу, об'єм та властивості теплоакумулюючого матеріалу – акумуляування теплової енергії повинно бути знайдено шляхом порівняння параметрів теплоємності теплоакумулюючих матеріалів та геометричних параметрів першого.

Акумулятори, робота яких заснована на ефектах фазових переходів, характеризуються збільшеними параметрами густини енергії навіть при незначних об'ємах теплоакумулюючого матеріалу.

Акумулятори, що працюють основі використання хімічних реакцій, характеризуються ще більшою густиною енергії, у порівнянні з вищерозглянутими, однак вони є більш коштовними.

Акумуляування енергії на основі водню має досить далекосяжні перспективи через те, що водень може бути гарною альтернативою нафті та природному газу, зважаючи на те, що запаси водню у складі води практично невичерпні, теплота його згорання вища за такий же показник для природного газу, а екологічність водню важко переоцінити.

Для зберігання енергії, виробленої фотоелектричними панелями, безумовно, найкращим застосуванням є свинцево-кислотні акумулятори та їх різновид – акумулятори глибокого розряду. Серед їхніх переваг – низька вартість, доступність, здатні тривалого зберігання енергії, низьке значення саморозряду, стабільність роботи і передбачуваність стану.

У табл. 2.1 наведено основні характеристики зазначених видів акумуляторів

Таблиця 2.1 – Основні характеристики акумуляторів енергії різних видів [13–15]

Акумулятори енергії з фазовим переходом		
Теплоакumuлюючі матеріали	Діапазон температури плавлення, °C	Об’ємна густина акумульованої енергії, МДж/м
Гідрати солей та їхні суміші	30-50	200-400
Органічні сполуки	30-60	150-200
Солі	140-1000	300-1900
Метали та їхні сплави	270-1000	540-3000
Луги	300-500	1280
Акумулятори енергії на основі хімічних реакцій		
Хімічні сполуки	Температура, °C	Густина енергії, що акумулюється, ГДж/м ³
$\text{Ca(OH)}_2 \leftrightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$	525	2,21
$\text{SO}_3 \leftrightarrow \text{SO}_2 + 0,5\text{O}_2$	650	0,51
$\text{BaO}_2 \leftrightarrow \text{BaO} + 0,5\text{O}_2$	825	2,36
$\text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$	860	4,82

Кількість енергії, яку акумулятор може віддавати у мережу, називають ємністю акумулятора (А·год.). Її значення залежить від кількості і розмірів пластин кожного елемента і від значення розрядного струму при однакових розмірах пластин. Експлуатаційний досвід показав, що чим повільніше відбувається процес заряджання та розряджання акумулятора, тим довше він зможе пропрацювати (до критичного значення напруги кожного елемента – до 1,8 В).

Коефіцієнт корисної дії акумулятора – відношення роботи, отриманої при повному розряді, до роботи, витраченої при заряді. Величина ККД акумулятора коливається в межах від 70–80% [13].

Основна ознака електричних акумуляторів – їхня робота лише на постійному струмі, що в разі використання для їхнього заряджання змінного струму чи живлення споживачів змінного струму, вимагає проміжного перетворювання, що знижує коефіцієнт корисної дії акумуляторної батареї та збільшує капітальні витрати на облаштування системи.

Альтернативою акумуляторним батареям можуть стати конденсатори, які також призначені для зберігання електричної енергії, але мають інший принцип роботи – для роботи конденсаторів використовують принцип електростатики. Конструктивно конденсатор складається з двох ізолюваних діелектриком одна від одної металевих пластин, по яким протікає електричний струм [16].

Перевагами конденсаторів є відсутність викиду шкідливих хімічних речовин та токсичних металів й практично нескінчене число заряду-розряду без видимого зношування. Основний їх недолік – значні габаритні розміри та необхідність застосування ефективного матеріалу діелектричного матеріалу. Більш прогресивним різновидом конденсаторів стали суперконденсатори (ультраконденсатори), пластини яких виготовлені не з металу, а з пористих речовин – порошкоподібного вуглецю, що має більшу ефективність за рахунок більшої загальної площі для зберігання заряду. Крім того, суперконденсатори мають у своїй конструкції електроліт – електрично-активну хімічну речовину – заряджені пластини поляризують електроліт, викликаючи появу подвійного електричного шару, що дозволяє зберігати велику кількість енергії. Суперконденсатори практично не мають внутрішнього опору, що дозволяє отримати високу ефективність їх роботи [16].

2.3 Створення системи автономного живлення

Системи автономного живлення буде складатися з «сонячної системи» і «акумуляторної системи». Сонячна система містить: сонячні панелі, сонячний регулятор, кріплення, кабелі та захисні пристрої. Акумуляторна система зазвичай вміщує: акумулятори, інвертор-зарядний пристрій, контролер заряду (який визначає стан заряду акумуляторів), захисні пристрої (запобіжники, заземлення) і кабелі [17].

Існує два типи мережевої архітектури для системи сонячних батарей: паралельна (менш застосована) і послідовна (яка у більшості випадків рекомендується до застосування). Перевагами послідовного з'єднання панелей є відсутність вимоги комутації при відключеному основному живленні, забезпечують кращу якість обслуговування і дозволяють покращити коефіцієнт використання панелей.

«Малі» акумуляторні системи здатні забезпечити короточасну автономію, дозволять скоротити використання резервних джерел (наприклад, генератора) і уникнути простоїв.

Сонячна система не в змозі забезпечити стовідсоткову потребу споживачів в електричній енергії, а лише її частину – від 30 до 50% у залежності від масштабу установки та сезонності.

Ще одним недоліком таких систем є те, що акумуляторні батареї та сонячні панелі складніше утилізувати.

Для того, щоб визначити потужність акумуляторних батарей необхідно визначити наступні показники:

- максимальну потужність на стороні споживачів,
- кількість енергії, що повинна зберігатися у акумуляторних батареях для покриття потреб споживачів,
- значення потужності для ефективного заряджання акумуляторних батарей.

Для визначення максимальної потужності розроблюваної установки необхідно визначити параметри усіх електричних приладів, що живляться від даної установки, і визначити максимальну потужність кожного електричного споживача.

2.3.1 Вибір окремих елементів системи автономного живлення

Фотоелектричний модуль або сонячна батарея – це електричний пристрій, що перетворює частину сонячного випромінювання у електричний струм, тобто являє собою фотоелектричний генератор, принцип дії якого заснований на фізичній властивості напівпровідників, згідно якої фотони світла вибивають електрони із зовнішньої оболонки атомів і дозволяють, за наявності замкненого через навантаження кола, отримати направлений рух заряджених часток – електричний струм [18].

У теперішній час найбільшого поширення набули фотоелектричні модулі, що складаються з кремнієвих елементів: окремі пластинки кремнію з'єднуються послідовно плоскими провідниками. Для захисту від впливу зовнішніх природних умов застосовують спеціальне прозоре, антиблікове, загартоване скло. Внутрішні елементи герметизуються для захисту від проникнення всередину панелі зовнішньої вологи, а скло обрамляється рамкою з алюмінієвого профілю для захисту від механічних ушкоджень. Приклад зовнішнього вигляду і конструкції сонячного (фотоелектричного) модуля представлено на рис. 2.2 [18].

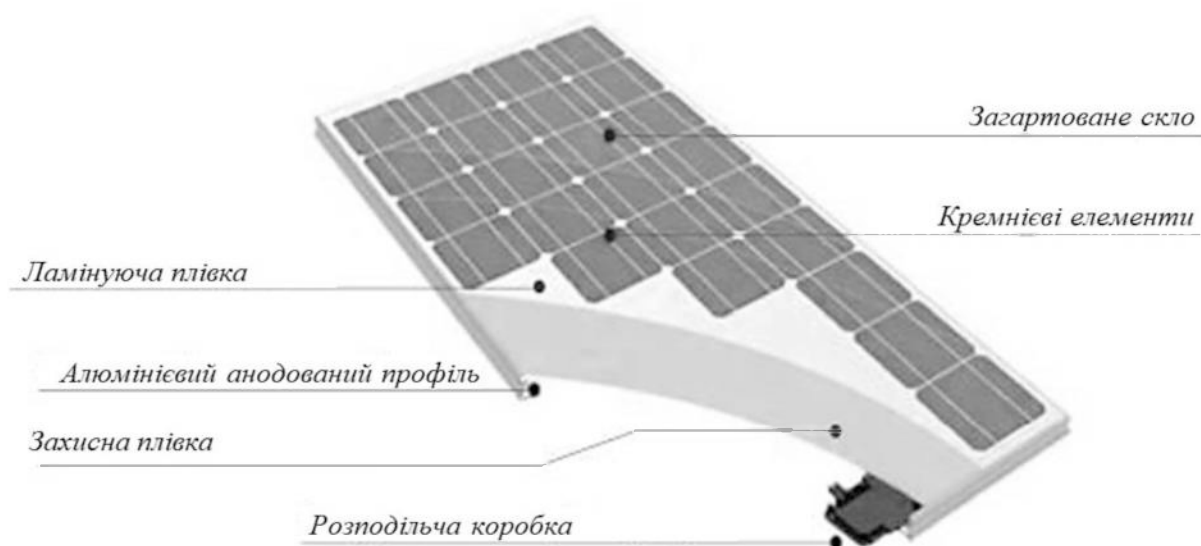


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд і конструкція сонячного (фотоелектричного) модуля

У теперішній час найбільшого застосування набули три типи сонячних (фотоелектричних) модулів, відмінності яких полягають у типі застосованих матеріалів [19]:

- на основі монокристалічного кремнію,
- на основі полікристалічного кремнію,
- на основі аморфного кремнію.

Для виготовлення фотоелектричних модулів на основі монокристалічного кремнію, останній очищується, плавиться і кристалізується у зливках, від яких відрізають тонкі шари. Крізь кремнієві пластини пропускають сітку з металевих електродів. ККД таких елементів складає 16–20%, термін служби таких панелей становить 40–50 років, причому їх продуктивність поступово знижується, приблизно, на 20% через кожні 20–25 років служби [19].

Виготовлення фотоелектричних модулів на основі полікристалічного кремнію технологічно не відрізняється від виготовлення елементів на монокристалічному кремнії – різниця у тому, що для виготовлення перших використовують менш чистий і дешевший матеріал. Ефективність таких

елементів становить 12–15%, а свою популярність на ринку вони отримали завдяки більш низькій ціні виробництва і реалізації [19].

У фотоелектричних модулях на основі аморфного кремнію використовуються не самі кристали, а найтонші шари кремнію, напилені в умовах вакууму на підкладку зі скла, металу чи пластика. Цей тип елементів є найбільш дешевим при виробництві і поряд з цим має серйозний недолік – шари кремнію вигорають на світлі значно швидше, ніж для попередніх типів елементів: зниження продуктивності на 20% може спостерігатися вже через кілька місяців [19].

Кількість енергії, виробленої фотоелектричними модулями залежить від потужності сонячної панелі, її коефіцієнту корисної дії, величини інсоляції (інтенсивності сонячного випромінювання) для даної місцевості, кута падіння сонячних променів на площину модуля, температури зовнішнього повітря та самої панелі, висоти сонця над горизонтом (пори року та часу дня), чистоти повітря, хмарності, вологості й інш.

Сонячна фотоелектрична станція складається з наступних елементів [20]:

- фотоелектричних панелей, кількість яких відповідає необхідній споживаній потужності, змонтовані на спеціальних конструкціях,
- блоків акумуляторних батарей, необхідної ємності,
- контролера заряду-розряду акумуляторних батарей,
- інвертора або блока безперервного живлення,
- резервного джерела живлення (за необхідності),
- зарядного пристрою для підзарядження акумуляторних батарей від генератора (за необхідності),
- комутаційне, реєструюче та індикаторне обладнання,
- з'єднувальні кабелі мережі та заземлення.

Стандартна однолінійна схема підключення споживачів до відновлюваного джерела енергії та загальної мережі представлено на рис. 2.1.

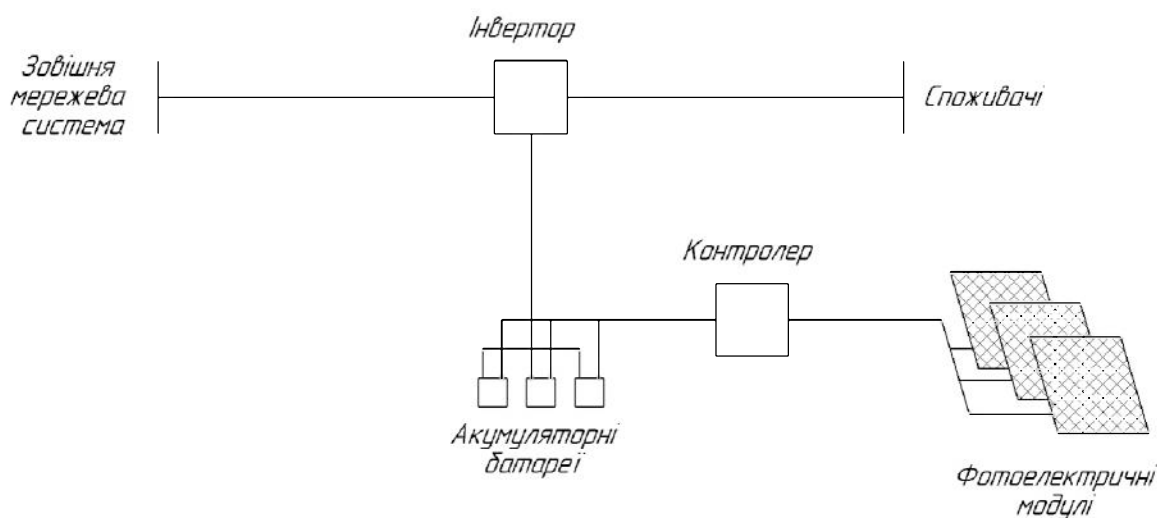


Рисунок 2.1 – Стандартна однолінійна схема підключення споживачів до відновлюваного джерела енергії та загальної мережі

Фотоелектричні панелі можна з'єднувати послідовно або паралельно у залежності від того, які параметри струму і напруги необхідно отримати.

Найпростішим і вигіднішим з точки зору втрат буде пряме живлення споживачів з прямим підключенням навантаження до фотоелектричних панелей. Недоліком такого підключення є неузгодженість величини і часу надходження електричної енергії від джерела до споживача. Необхідно також враховувати можливість відсутності постачання енергії від фотоелектричної панелі за відсутності сонячного випромінювання [20].

Особливістю роботи фотоелектричних панелей є зміна вихідної напруги у досить широких межах [19].

Для згладжування цих проявів необхідно використання «буферів», у якості яких можуть виступати або акумулятори або загальна мережа. При цьому надлишок електричної енергії може бути запасеним в акумуляторних батареях на досить тривалий час, і, в разі необхідності, ця «запасена» електрична енергія може бути направлена до споживачів. При цьому також реалізується функція стабілізації напруги.

Тип, типорозмір і кількість акумуляторів обираються у залежності від значень (коливачь значень) напруги і струму зарядки від енергетичних

осередків (фотоелектричні модулі, загальна мережа). Серед додаткових (експлуатаційних) вимог можна виділити стійкість пластин акумуляторів до сульфатації і по-можливості низький рівень саморозрядження.

У разі використання акумуляторних батарей, без яких не можлива реалізація автономної системи живлення, конче необхідним є застосування засобів контролю заряджання та розряджання цих акумуляторів. Ця вимога виходить з того, що часті перезаряджання різко скорочують термін служби акумуляторних батарей та передчасний їх вихід з ладу через можливість закипання електроліту та попутне газовиділення, здуття стінок і вірогідність вибуху самих батарей [20].

Для живлення приводного двигуна змінного струму необхідно здійснити перетворення постійного струму акумуляторної батареї в змінний синусоїдальної форми, для чого застосовують інвертор, який являє собою генератор періодичного напруги, форма якої наближена до синусоїдної. Синусоїдна форма напруги отримується завдяки використанню принципу широтно-імпульсної модуляції. У нашому випадку застосовується приводний двигун змінного струму але для узгодженої роботи двигуна, блоку акумуляторів і фотоелектричних панелей також необхідно застосування інвертора.

2.3.2 Розрахунок фотоелектричної установки

Для визначення кількості та потужності фотоелектричних модулів, необхідно визначити скільки електричної енергії необхідно для нормованого живлення споживача. У нашому випадку передбачається автономне живлення одного споживача – насоса з приводом від двигуна змінного струму, потужність двигуна – 10 кВт.

Розраховуємо добову кількість електричної енергії, що споживається насосом за формулою, кВт·год [21]:

$$W = t_{\text{доб}} \cdot P_n, \quad (2.1)$$

де $t_{\text{доб}}$ – час роботи насоса протягом доби, годин,

P_n – встановлена потужність насоса, кВт, $P_n = 10$ кВт.

Для наочності приймаємо, що привод працює різний час у різні пори року – найбільший «попит», а отже найбільший час роботи, маємо у літні місяці, а найменший – у зимові, весною та восени – проміжний «попит».

Результати розрахунків за формулою (2.1) та з урахуванням наведених міркувань наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Визначення часу роботи приводу та споживання ним електричної енергії

Місяць року	Час роботи приводу протягом доби, годин	Добове споживання електричної енергії, кВт·год
Січень	1	10
Лютий	1	10
Березень	2	20
Квітень	2	20
Травень	3	30
Червень	4	40
Липень	5	50
Серпень	4	40
Вересень	3	30
Жовтень	2	20
Листопад	2	20
Грудень	1	10

На рис. 2.2 наведено графік споживання електричної енергії приводом протягом року за даними табл. 2.1.

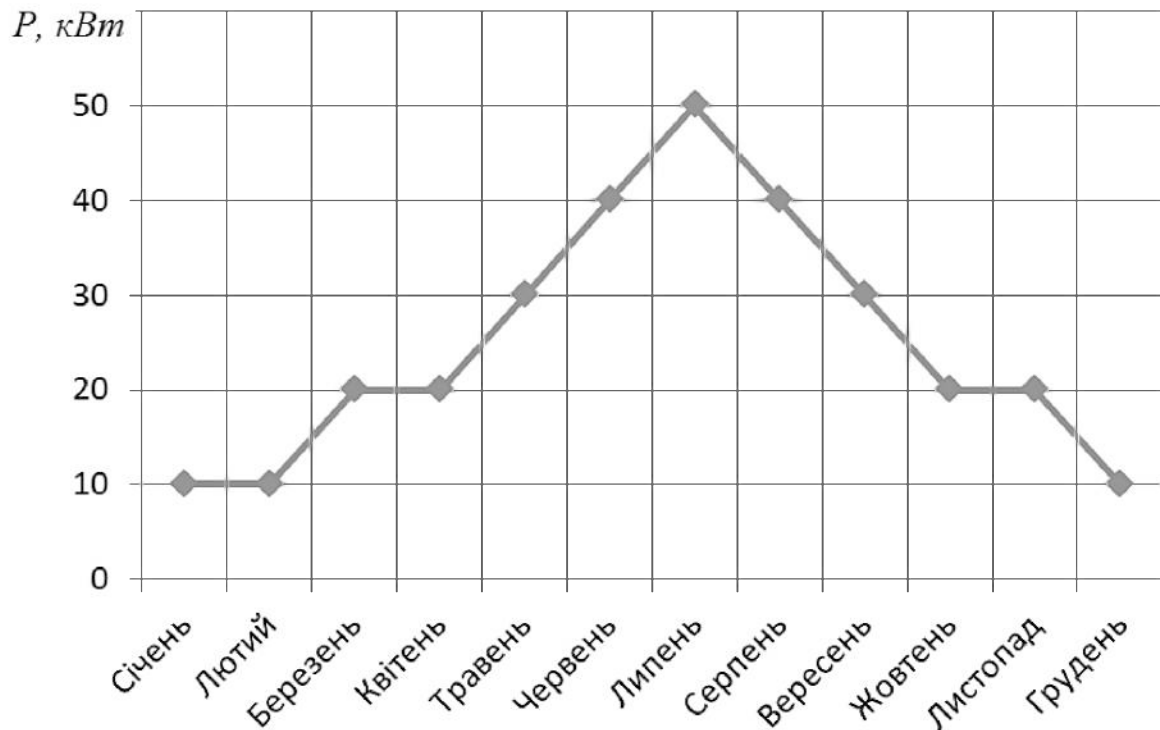


Рисунок 2.1 – Графік споживання електричної енергії приводом протягом року

Для визначення необхідної кількості електричної енергії, що виробляється фотоелектричними панелями, скористаємося даними [28]. Обрані відомості для наших умов заносимо до табл. 2.2.

Зрозуміло, що питома добова кількість електричної енергії, що виробляється фотоелектричними панелями різниться у залежності від часу доби і пори року. Важливим параметром також є кута нахилу панелі до горизонту.

Питома добова кількість електричної енергії, що виробляється фотоелектричною панеллю у різні місяці для різних кутів нахилу наведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.2 – Питома потужність потоку сонячного випромінювання в окремі часові інтервали, кВт/м² [28]

Інтервал часу, годин	Місяць року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4-5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,45	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5-6	0,00	0,00	0,00	0,40	0,45	0,50	0,45	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00
6-7	0,00	0,00	0,40	0,45	0,50	0,55	0,50	0,45	0,30	0,00	0,00	0,00
7-8	0,00	0,30	0,45	0,50	0,55	0,60	0,55	0,50	0,40	0,30	0,00	0,00
8-9	0,20	0,33	0,50	0,55	0,60	0,65	0,60	0,55	0,45	0,33	0,30	0,15
9-10	0,25	0,40	0,55	0,60	0,65	0,67	0,62	0,58	0,50	0,40	0,33	0,20
10-11	0,30	0,42	0,60	0,62	0,66	0,70	0,65	0,61	0,52	0,45	0,35	0,22
11-12	0,35	0,45	0,62	0,65	0,70	0,75	0,70	0,65	0,55	0,50	0,40	0,25
12-13	0,35	0,45	0,62	0,65	0,70	0,75	0,70	0,65	0,55	0,50	0,40	0,25
13-14	0,30	0,42	0,60	0,62	0,66	0,70	0,65	0,61	0,52	0,45	0,35	0,22
14-15	0,25	0,40	0,55	0,60	0,65	0,67	0,62	0,58	0,50	0,40	0,33	0,20
15-16	0,20	0,33	0,50	0,55	0,60	0,65	0,60	0,55	0,45	0,33	0,30	0,15
16-17	0,00	0,30	0,45	0,50	0,55	0,60	0,55	0,50	0,40	0,30	0,00	0,00
17-18	0,00	0,00	0,40	0,45	0,50	0,55	0,50	0,45	0,30	0,00	0,00	0,00
18-19	0,00	0,00	0,00	0,40	0,45	0,50	0,45	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00
19-20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,45	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблиця 2.3 – Питома добова кількість електричної енергії, що виробляється фотоелектричною панеллю у різні місяці для різних кутів нахилу, кВт·год/м²

Місяць року	Кут нахилу			
	75	80	85	90
Січень	0,67	0,67	0,67	0,66
Лютий	0,86	0,85	0,85	0,84
Березень	0,92	0,88	0,88	0,86
Квітень	0,75	0,72	0,69	0,67
Травень	0,63	0,58	0,53	0,48
Червень	0,60	0,55	0,51	0,47
Липень	0,58	0,53	0,49	0,45
Серпень	0,60	0,56	0,52	0,48
Вересень	0,60	0,57	0,55	0,51
Жовтень	0,68	0,68	0,67	0,66
Листопад	0,75	0,75	0,75	0,74
Грудень	0,53	0,53	0,53	0,52

При виборі кута нахилу для установки фотоелектричної панелі необхідно врахувати різноманітні умови, серед яких умова скоочування опадів у зимову пору року. Це вимагає встановлювати панелі щонайменше під кутом 75 градусів.

Кут нахилу фотоелектричної панелі впливає на загальну площу фотоелектричного поля, яка визначає достатність вироблення енергії для споживача. Виходячи з цього, площа фотоелектричного поля для визначеного значення кута їх нахилу визначимо за формулою, м² [21]:

$$F_{\text{сп}} = \frac{W_{\text{д.сп.}}}{W_{\text{п.д.в.}}} \quad (2.2)$$

де $W_{\text{д.сп.}}$ – питоме добове споживання електричної енергії (табл. 2.1), кВт·год,

$W_{\text{п.д.в.}}$ – питома добова виробка електричної енергії фотоелектричним полем (табл. 2.3), кВт·год/м².

Результати за формулою (2.2) зводимо до табл. 2.4, а графічна інтерпретація – на рис. 2.2.

Таблиця 2.4 – Необхідна площа фотоелектричного поля у залежності від кута нахилу панелей, м²

Місяць року	Кут нахилу панелі, град.			
	75	80	85	90
Січень	15	15	15	15
Лютий	12	12	12	12
Березень	22	23	23	23
Квітень	27	28	29	30
Травень	48	52	57	63
Червень	67	73	78	85
Липень	86	94	102	111
Серпень	67	71	77	83
Вересень	50	53	55	59
Жовтень	29	29	30	30
Листопад	27	27	27	27
Грудень	19	19	19	19

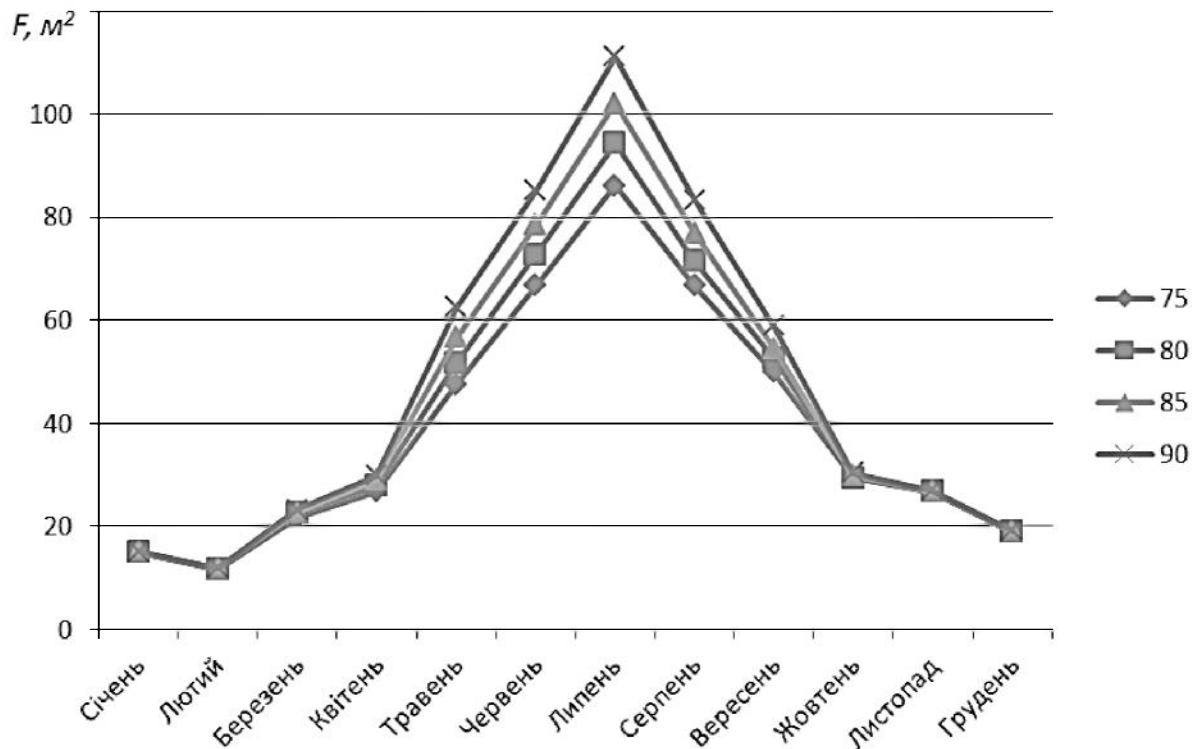


Рисунок 2.2 – Графік, що відображає необхідну площу фотоелектричного поля у залежності від кута нахилу панелей

Аналізуючи графіки (рис. 2.2) можна сказати, що найменшу площу фотоелектричного поля можна отримати при куті нахилу панелей у 75 градусів

2.3.3 Вибір типорозміру обладнання автономної фотоелектричної установки

Найважливішою складовою частиною автономної фотоелектричної установки є фотоелектричні панелі, від правильного вибору яких залежить економічна ефективність застосованих заходів.

Для вибору кількості фотоелектричних панелей необхідно скористатися даними табл. 2.4 – за умови повного забезпечення споживача

електроенергією оптимальній умові відповідає кут у 75 град. з площею фотоелектричного поля (для липня місяця), що дорівнює 86 м².

Кількість сонячних модулів визначимо за формулою [21]:

$$n_{\text{сп}} = \frac{F_{\text{сп}}}{F_{\text{фп}}} \quad (2.3)$$

де $F_{\text{сп}}$ – площа фотоелектричного поля, $F_{\text{сп}} = 86 \text{ м}^2$,

$F_{\text{фп}}$ – площа фотоелектричної панелі, м².

До застосування приймаємо фотоелектричну панель JA Solar JAP72S01, що виготовлено з монокристалічних сонячних високоефективних елементів, що гарантує високу надійність і продуктивність їхньої роботи. Дані батареї характеризуються наявністю міцного загартованого скла з високим ступенем прозорості і має високий ККД. Корпус виготовлено з анодованого алюмінію, у якому наявні дренажні отвори, має високу стійкість модуля до зовнішніх впливів та деформації. Технічні характеристики модуля наведено у табл. 2.5, а загальний вигляд панелі – на рис. 2.3.

$$n_{\text{сп}} = \frac{86}{1,883} = 46 \text{ шт.}$$

Приймаємо кількість фотоелектричних панелей для найбільш завантаженого місяця дорівнюючою 46 шт. з округленням у більший бік.

Для вибору інвертора визначимо потужність навантаження [21]:

$$P_{\text{н}} = P_{\text{н}} \cdot k_{\text{п}} \quad (2.4)$$

де $k_{\text{п}}$ – коефіцієнт попиту, $k_{\text{п}} = 1,2$.

Таблиця 2.5 – Основні технічні характеристики фотоелектричного модуля JA Solar JAP72S01 [22]

Параметр	Од. виміру	Значення параметра
Потужність,	Вт	330
Струм КЗ	А	18,33
Напруга ХХ	В	37,65
Номінальна напруга	В	24
Робочий струм	А	13,75
Довжина	м	1,960
Ширина	м	0,961
Площа панелі	м ²	1,883

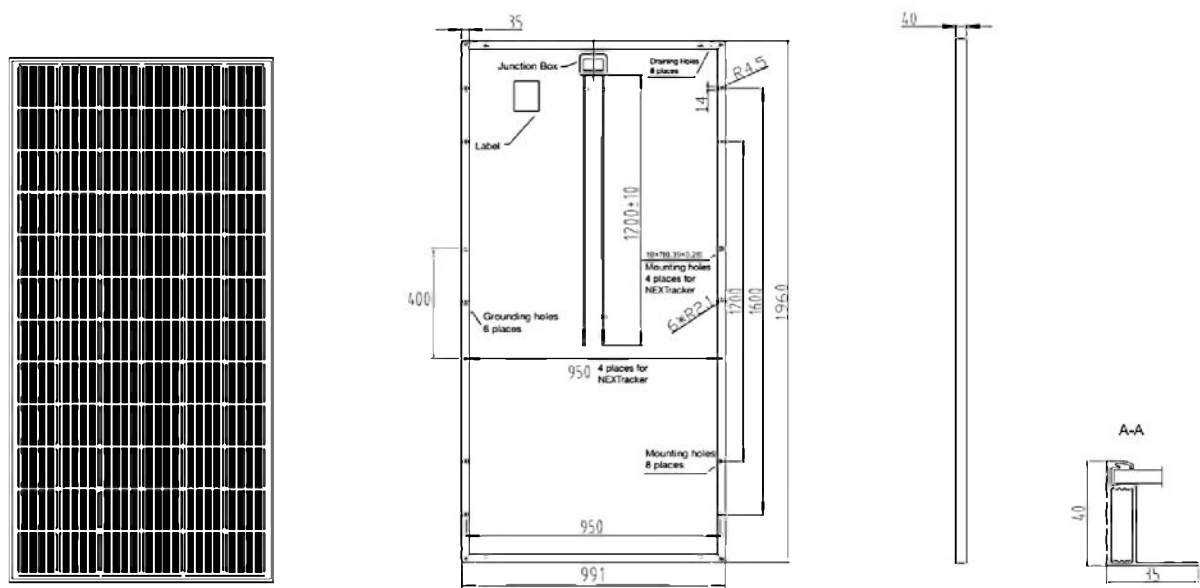


Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд та габаритні розміри фотоелектричної панелі JA Solar JAP72S01

Додатково буде необхідний комплект для монтажу фотоелектричних панелей, кабель, конвектори та автоматичні вимикачі.

$$P_n = 10 \cdot 1,2 = 12 \text{ кВт}$$

До застосування приймаємо інвертор SolarEdge SE 12,5K, технічні характеристики якого наведено у табл. 2.6 [23].

Таблиця 2.5 – Основні технічні характеристики інвертора SolarEdge SE 12,5K

Параметр	Од. виміру	Значення параметра
Номінальна вихідна потужність	Вт	12500
Макс. вихідна потужність	Вт	12500
Номінальна напруга змінного струму	В	380/220
Діапазон вихідної напруги змінного струму	В	184–264,5
Частота мережі змінного струму/діапазон	Гц	50/60 ±5
Максимальний вихідний струм	А	20
Фази живильної напруги/фази підключень	–	3/3
Максимальний ККД	%	не менше 98
Розміри ШхВхГ	мм	315x540x260
Вага	кг	33,2
Діапазон робочих температур	°С	від –20 до +60
Клас захисту IP	–	IP65
Рівень шуму	дБ	< 50
Підтримувані протоколи зв'язку	–	RS485, Ethernet, Zig Bee (опція), Wi-Fi (опція), Built-in GSM (опція)
Підключення з боку постійного струму	–	дві пари MC4
Охолодження	–	примусове

Вибір акумуляторів здійснюємо за величиною кількості енергії, що необхідно запасти. Значення ємності акумуляторних батарей здійснюємо за значенням максимального енергоспоживання (у липні – 50 кВт·год) за формулою, А·год [21]:

$$C_{\text{розр.}} = \frac{W_{\text{дс}}}{U_{\text{н.АКБ}}} \quad (2.5)$$

де $W_{\text{дс}}$ – добове споживання електричної енергії у місяць з максимальним енергоспоживанням, $W_{\text{дс}} = 50 \text{ кВт} \cdot \text{год}$.

$U_{\text{н. АКБ}}$ – номінальна напруга акумуляторної батареї, $U_{\text{н. АКБ}} = 12 \text{ В}$.

$$C_{\text{розр.}} = \frac{50 \cdot 10^3}{12} = 4167 \text{ А} \cdot \text{год}$$

З огляду на те, що акумуляторні батареї не рекомендується розряджати більше, ніж на 25%, виберемо ємність АКБ у 1,5 рази більшою за розрахункове значення:

$$C_{\text{АКБ}} = 4167 \cdot 1,5 = 6251 \text{ А} \cdot \text{год}$$

До застосування приймаємо гелеві акумуляторні батареї Pulsar, технічні характеристики яких наведено у табл. 2.6 [24].

Перевагами даних акумуляторів є мінімальне технічне обслуговування завдяки зниженому вмісту сурми і великому запасу електроліту, застосування трубчастих пластин ідеально підходить для використання АКБ у циклічних режимах роботи, термін експлуатації акумуляторів становить більше 15 років.

Розрахункова кількість акумуляторних батарей – 7 шт.

Таблиця 2.6 – Основні технічні характеристики акумуляторних батарей Pulsar [24]

Параметр	Од. виміру	Значення параметра
Тип акумулятора	–	GEL
Ємність акумулятора	А·год	300
Напрацювання (DOD 100%)	циклів	550
Напрацювання (DOD 50%)	циклів	1500
Номинальна напруга	В	12
Габарити ДхШхГ	мм	520x226x268
Вага	кг	77,3

Контролер заряджання акумуляторних батарей вибираємо за струмом навантаження і струмом заряджання (табл. 2.4 і 2.5) – тип контролера Victron Energy SmartSolar MPPT 250/100, технічні характеристики якого наведено у табл. 2.7 [25].

Таблиця 2.7 – Основні технічні характеристики контролера Victron Energy SmartSolar MPPT 250/100 [25]

Параметр	Од. виміру	Значення параметра
Напруга акумуляторної батареї	В	12/24/36/48
Максимальна напруга відкритого контуру	В	250
Максимальний струм заряду акумуляторів	А	100
Ступінь захисту	–	IP43 / IP22
Габарити ДхШхГ	мм	216x295x103
Вага	кг	4,5

2.4 Висновки по розділу

Потенціал сонячної енергії є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання практично в усіх областях.

Не дивлячись на добову та сезонну нерівномірність виробки електричної енергії нетрадиційними і/та відновлюваними джерелами енергії все одно призводить до значної економії традиційних енергоносіїв та може бути знівельована шляхом акумулювання енергії, виробленої в періоди її мінімального споживання.

Застосування акумуляторів різних типів в альтернативних енергетичних системах із застосуванням відновлюваних джерел енергії дозволяє:

- реалізувати безперебійне енергопостачання споживачів за рахунок накопичення надмірної енергії та подальшого її використання у період відсутності централізованого енергопостачання або його недостатності,
- забезпечити оптимальний режим роботи як джерел енергії так і споживачів за рахунок згладжування коливань в енергомережі,
- підвищення потенціалу використання енергії до необхідного значення при накопиченні низькопотенційної енергії,
- перетворення енергії одного виду в інший відповідно до потреб споживача.

Безумовно треба враховувати, що автономні сонячні установки коштують досить дорого і 45% від її вартості припадають на сонячні модулі, 50% вартості складають інші елементи (інвертор, акумулятори, контролер заряджання-розряджання) і 5% – інші матеріали та складові системи.

3 ПОШУК ШЛЯХІВ ВІДСТЕЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ СПОЖИВАНОЇ ПОТУЖНОСТІ

3.1 Теоретичне підґрунтя для пошуку можливості відстежування точки максимальної потужності фотоелектричного модуля

На шляху підвищення ККД фотоелектричної установки існують різноманітні методи, що визначає отримання максимальної кількості енергії від фотоелектричних елементів. Максимальна вихідна потужність залежить від температури сонячного модуля та параметрів освітленості. Для досягнення високих техніко-економічних показників необхідно використовувати специфічні підходи. Більшість методів, за допомогою яких можна знайти максимум або мінімуму зазначеної функції залежить від багатьох змінних і у багатьох випадках не можуть отримати максимум потужності на характеристичній кривій [26].

Спеціальні конструкції контролерів вміють стежити за точкою максимальної потужності фотоелектричних панелей (так звані MPPT-контролери – «Maximum Power Point Tracking»). Можливість відстежування точки максимальної потужності (ТМП) фотоелектричної панелі здатне дати приріст у виробці енергії до 15–35% у порівнянні з безконтрольним стеження [26].

Типові воль-амперні характеристики фотоелектричної панелі наведено на рис. 3.1 – відповідний вигляд кривої отримуємо при різних значеннях інтенсивності сонячного випромінювання. Для ряду значень струмів значення максимальної потужності можна схарактеризувати вертикальною лінією [27].

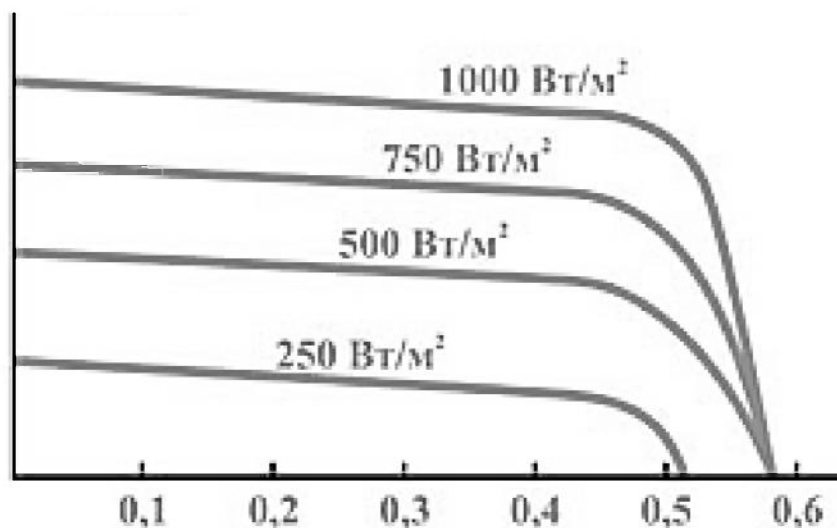


Рисунок 3.1 – Вигляд вольт-амперних характеристик фотоелектричної панелі при різних значеннях сонячного випромінювання

Граничними точками на цих кривих є значення напруги холостого ходу і значення струму короткого замикання. У разі підключення до фотоелектричної панелі навантаження, частина енергії буде виділятися на ній у залежності від величини навантаження. При зменшенні опору навантаження, напруга буде падати, а струм – зростати [27].

У деякій точці потужність, що виділяється на навантаженні, досягає свого максимуму, після чого, при подальшому зменшенні опору, напруга на навантаженні починає різко падати, що відображається на значенні спожитої потужності [27].

Значення напруги і сили струму в ТМП залежать від декількох параметрів: потужність фотоелектричної панелі, значення інсоляції, кут падіння променів, температура батареї – усі перераховані параметри, крім першого, постійно змінюються в часі, що призводить до відповідної зміни графіка і положення ТМП на ньому [27].

Процедура без здійснення підстроювальних ходів, що не вимагають пошуку заданого значення струму або напруги сонячної панелі. При визначенні значення опромінювання використовують метод, який заснований на визначенні опромінюванні і його порівнянні з еталонним

значенням для визначеної сонячної батареї. Струм, що генерується сонячною панеллю пропорційна опроміненню, яке визначає продуктивність. Перепади величини опромінення або падіння тіней можуть погано впливати на роботу системи. Струм, що видається панеллю знаходиться у прямій залежності від струму КЗ у ідеальних умовах для ідеальної (еталонної) комірки і це значення змінюється з часом внаслідок старіння сонячної панелі [28].

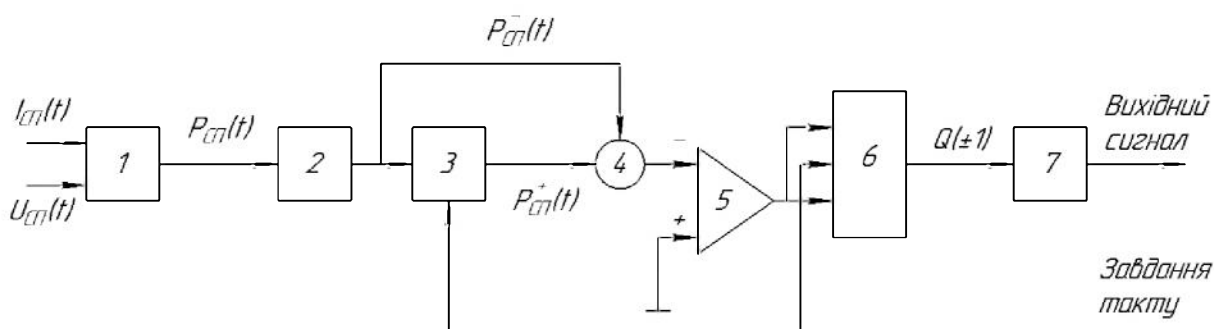
Статистичні вимірювання параметрів сонячних панелей під час їх експлуатації виводять характерну криву (вольт-амперну характеристику) сонячної панелі. Ця характеристика містить характерну точку, що визначає максимальне значення вихідної потужності. Напруга на сонячній панелі, при якій отримується максимальна потужність, використовується як номінальне значення для прийнятого навантаження [28].

При прямому живленні від сонячних панелей може виникнути невідповідність між електричними параметрами через характерні динамічні властивості величини струму та напруги на споживачі. Покладена на систему управління функція зміни відповідних параметрів, іноді не в змозі адекватно зреагувати на обставини, що змінилися.

Вимірювання напруги розімкнутого ланцюга та струму короткого замикання на блоках сонячних батарей повинна здійснюватися циклічно. Ця необхідність викликана зміною поточного опромінення та зовнішньої температури поля сонячних панелей. Ці два значення взаємопов'язані і впливають на характеристику сонячних панелей та впливають на визначення оптимального положення робочої точки і повільна реакція системи керування на зміну зовнішніх умов є їх недоліком. Визначення параметрів і характеристик сонячних панелей повинні визначатися постійно для різних сонячних модулів, що знаходяться у різних умовах експлуатації з урахуванням процесів їх фізичного зношення [29].

Значення напруги, що відповідає максимальній миттєвій потужності може бути визначено пропорційно миттєвому значенню напруги у

розімкнутому ланцюзі (контурі). Максимальна миттєва потужність може бути визначена за допомогою методу, що керує пошуковим алгоритмом, який коливається навколо вираженого максимуму або мінімуму досліджуваної функції на характеристичній кривій. Цей метод вимагає знань значень струмів і напруг, які і відіграють у регуляторі керуючі сигнали – це так званий метод пошукових коливань (рис. 3.2) [30].



1 – множник, 2 – низькочастотний фільтр, 3 – вузол порівняння і зберігання, 4 – суматор, 5 – тригер, 6 – логічний елемент, 7 – інтегратор

Рисунок 3.2 – Реалізація методу пошукових коливань для виявлення точки максимальної потужності

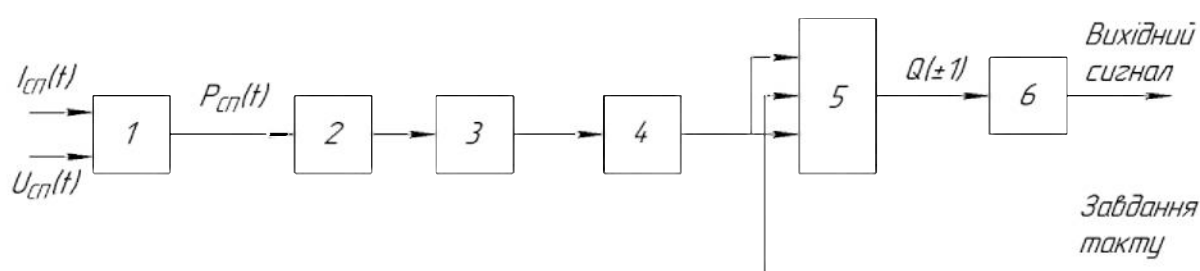
Для реалізації принципу регулювання, миттєві значення напруги $U_{CP}(t)$ і струму $I_{CP}(t)$ від сонячних панелей перемножуються, визначаючи таким чином продуктивність системи. Наступна ланка визначає середнє значення потужності та характеризує різницю. Протягом певного часу значення потужності зберігається і різниця між попередніми і поточними показниками може бути схарактеризована за зміною потужності ΔP_{CP} . У разі зміни значення потужності у «позитивний» бік, на обидва входи тригера подається сигнал, що призводить до появи вихідного сигналу (Q). У разі зміни значення потужності у «негативний» бік, на обидва входи тригера подається низький потенціал і вихідний сигнал залишається незмінним. Вихідний сигнал тригера (Q) задає напрямок зміни вихідної

потужності. У разі зміни потужності в бік зниження робиться висновок, що обраний напрямок пошуку невірний і його необхідно змінити. У разі збільшення потужності робиться висновок про те, що напрямок регулювання вірний і пошук точки найбільшої потужності залишається незмінним [30].

На рис. 3.3 показано реалізацію аналогового методу виявлення точки максимальної потужності, принцип роботи якого східний до показаного вище (рис. 3.2) [30].

По-перше, якщо відношення $dP_{СП}/dt > 0$, робиться висновок, що рух у напрямку точки максимальної потужності вірний але слід враховувати, що диференціювати зміну сигналу досить складно та проблематично.

На тригер, що застосовано у схемі, покладено завдання створення так званої «мертвої зони» для фільтрації перешкод у системі, що дозволяє ігнорувати незначні зміни у роботі схеми. Зміна значення потужності призводить до нестабільного управління пошуком точки максимальної потужності.

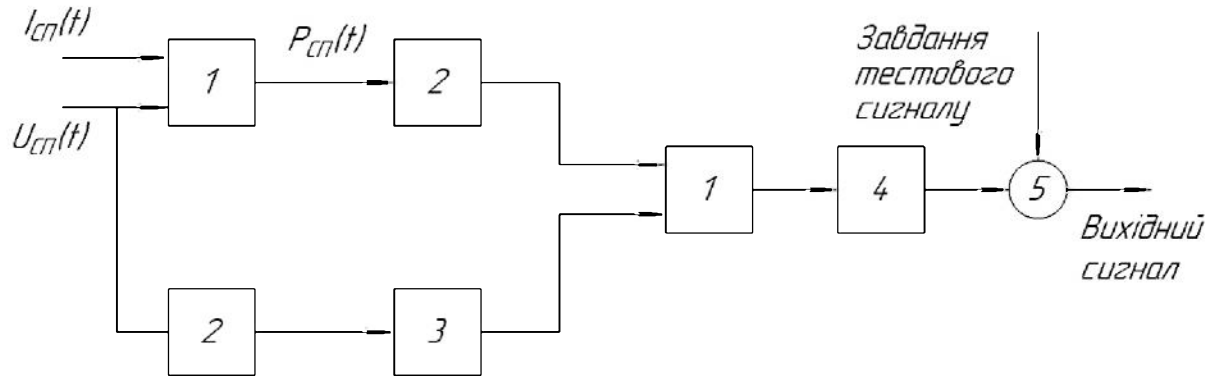


1 – множник, 2 – диференціатор, 3 – тригер, 4 – обертач (негативатор),
5 – логічний елемент, 6 – інтегратор

Рисунок 3.3 – Реалізація аналогового методу для виявлення точки максимальної потужності

Для чітко бачення положення точки максимальної потужності необхідно враховувати зміну і напрямок струму (напруги), що визначають

задану потужність. Ці принципи покладено в основу методу, що реалізує аналоговий метод множення (рис. 3.4) [30].



1 – множник, 2 – високочастотний фільтр, 3 – обертач (негативатор), 4 – інтегратор, 5 – суматор

Рисунок 3.4 – Реалізація аналогового методу множення для виявлення точки максимальної потужності

У разі високого ступеню коливань вхідних значень струму і напруги, і як наслідок, вимоги здійснення безперервного диференціювання, виникає необхідність використання цифрових методів і засобів. Алгоритм, що ілюструє цифровий метод пошукових коливань представлено на рис. 3.5. Згідно цього алгоритму відбувається поступовий пошук положення робочої точки, що відповідає значенню максимальної потужності. Пошуковий крок може бути як фіксованим так і змінним. Кожне наступне значення змінного кроку визначається як середнє арифметичне двох останніх значень кроків.

При змінному кроці, час процесу пошуку скорочується але можуть бути допущені помилки обрахунку.

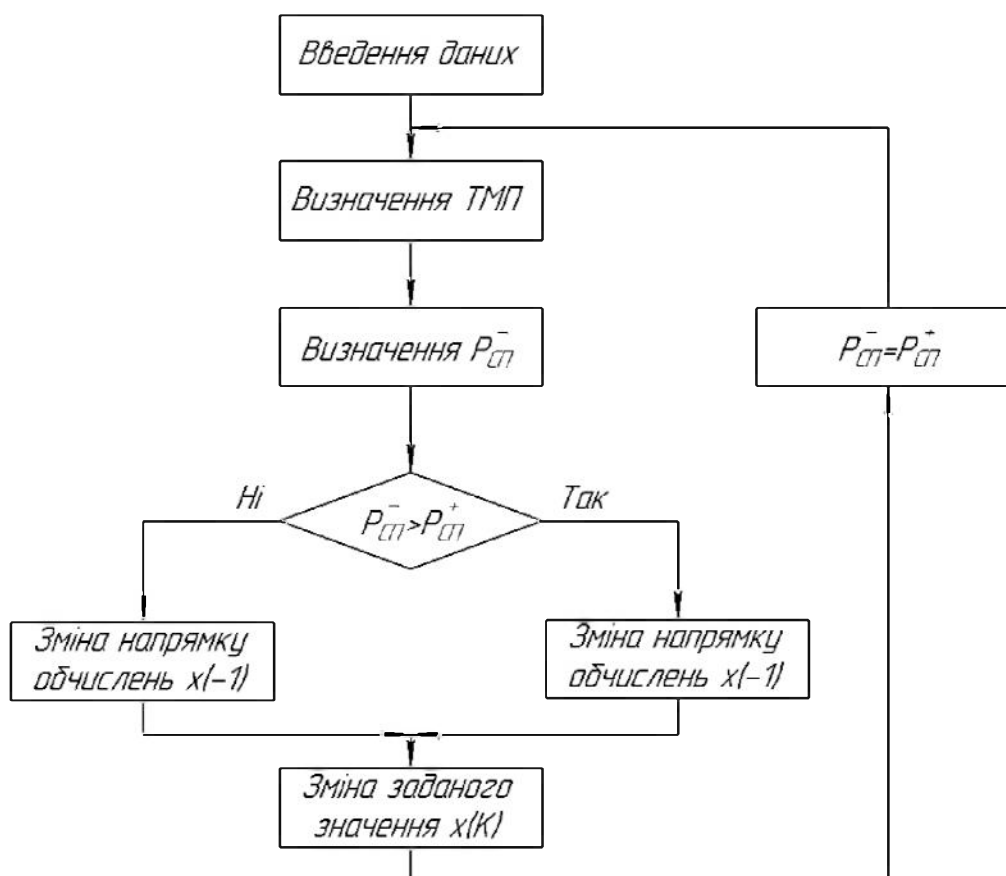


Рисунок 3.5 – Алгоритм, що ілюструє цифровий метод пошукових коливань

Пошуковий алгоритм починає працювати в разі зміна значення потужності понад обраного значення – і у бік збільшення і у бік зменшення. На початковому етапі роботи використовується найменший можливий розмір кроку. Після певного періоду часу та певної кількості кроків у вибраному напрямку, крок обрахунку збільшується.

Зазначені методи використовують для досягнення поставленої мети знання про вигляд характеристичної кривої сонячної панелі, а зміна потужності зумовлюється пошуковими значеннями струму і напруги. У іншому разі, зміна потужності може бути спричинена зміною величини випромінювання, що призводить до відхилень від кінцевого оптимального результату з пошуку точки максимальної потужності.

Кращим до застосування може бути рекомендований метод, в основі роботи якого є вимірювання струму і напруги. Робота обраного алгоритму базується на наступних залежностях [30]:

$$\begin{aligned}U_A &= k \cdot U_B \\ I_B &= k \cdot I_A\end{aligned}\tag{3.1}$$

Коефіцієнт k визначає динаміку коливань і швидкість пошуку по максимуму. У разі, коли $k < 1$, можна записати:

$$U_A \cdot I_A = U_B \cdot I_B\tag{3.2}$$

Швидкість пошуку точки максимальної потужності зворотно-пропорційна якості пошуку – велика швидкість призводить до появи коливань навколо дійсної точки, і робота алгоритму пошуку «паралізується», по маємо погану реакцію на зміну вхідних значень струму та напруги. Визначення оптимуму між швидкістю та якістю пошуку є досить складною прикладною задачею [31].

Реалізація зазначеного пошуку можна показати алгоритмом, представленим на рис. 3.6, а графічно – на рис. 3.7.

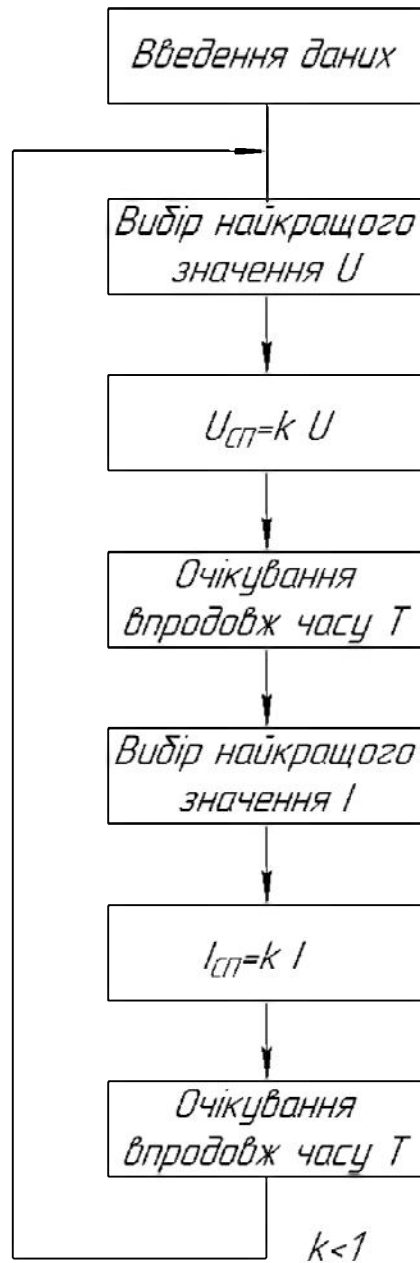


Рисунок 3.6 – Алгоритм, що реалізує самоадаптуючу систему пошуку точки максимальної потужності

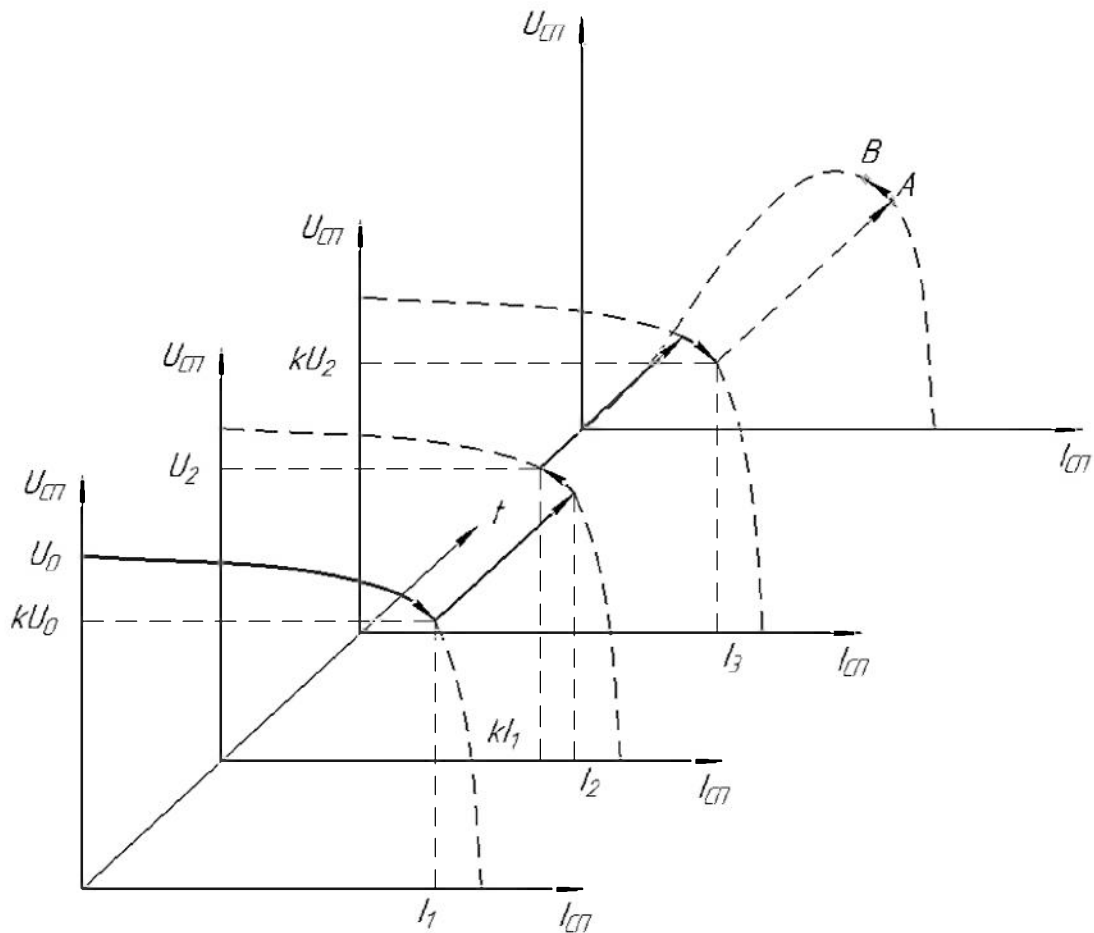


Рисунок 3.7 – Графічна інтерпретація самоадаптуючої системи пошуку точки максимальної потужності

Зазначені проблеми адаптації та пошуку оптимального кроку роботи алгоритму пошуку дійсної величини вимагають розробки принципів, що дозволяють вирішити поставлені завдання з урахуванням зміни значення опору вихідного сигналу в зоні навколо робочої точки.

Максимальне значення потужності визначається рівнянням [31]:

$$\frac{dP_{\text{сп}}}{dU_{\text{сп}}} = \frac{d(U_{\text{сп}} \cdot I_{\text{сп}})}{dU_{\text{сп}}} = I_{\text{сп}} + U_{\text{сп}} \cdot \frac{dI_{\text{сп}}}{dU_{\text{сп}}} = 0 \quad (3.3)$$

або

$$\frac{I_{\text{сп}}}{U_{\text{сп}}} = \frac{dI_{\text{сп}}}{dU_{\text{сп}}} \quad (3.4)$$

Рівняння (3.4) відображає математичний пошук дійсного значення точки максимальної потужності. Графічна інтерпретація даного рівняння представлена на рис. 3.8, з якої виходить, що існує лише одне значення максимальної потужності – точка у якій проходить дотична до характеристики сонячної панелі – у всіх інших випадках поточне значення знаходиться праворуч або ліворуч від цього значення і відрізняється від значення ТМП.

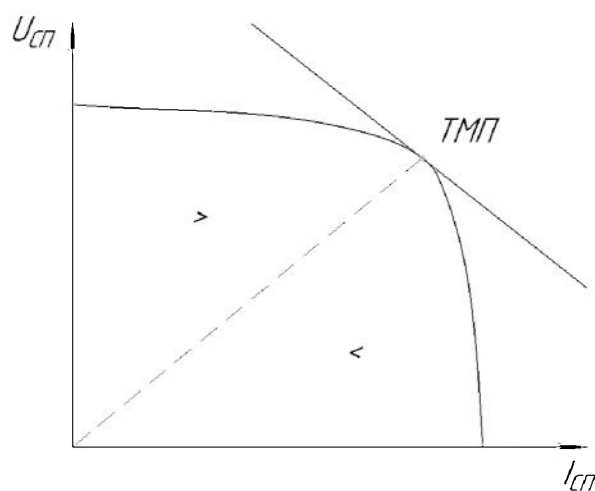
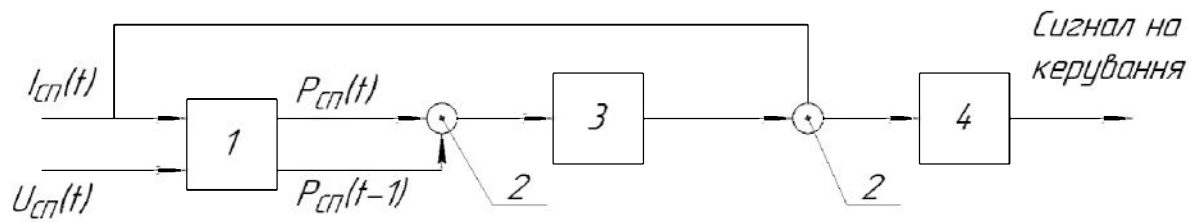


Рисунок 3.8 – Графічна інтерпретація однозначності знаходження точки максимальної потужності (ТМП) сонячної панелі

Реалізація цього процесу є досить складною і вимагає застосування найсучасніших трекерів, що використовують для пошуку ТМП, так звані, ПІ-регулятори, принцип роботи яких показано на рис. 3.9. При застосуванні даної методи здійснюється порівняння двох послідовних значень потужності і, знаходячи їх різницю, отримати відповідний сигнал для його подачі на вхід регулятора потужності (по струму).

Застосовані у схемі рис. 3.9 ПІ-регуляторів визначають оптимальне значення струму. Графічну інтерпретацію цього процесу наведено на рис. 3.10.



1 – множник, 2 – суматор, 3 – ПІ-регулятор потужності, 4 – ПІ-регулятор струму

Рисунок 3.9 – Застосування ПІ-регуляторів для знаходження точки максимальної потужності (ТМП) сонячної панелі

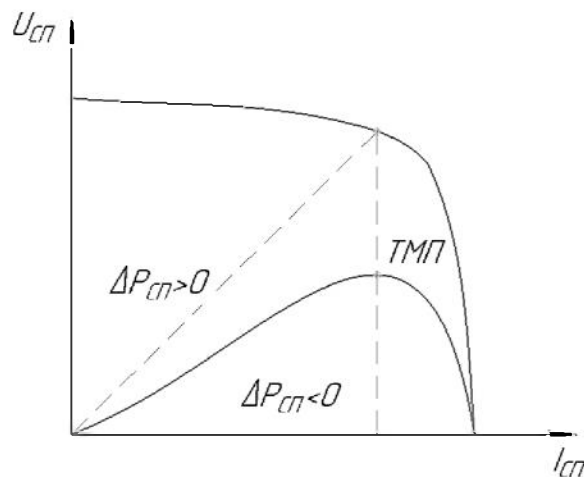


Рисунок 3.10 – Графічна інтерпретація застосування ПІ-регуляторів для знаходження точки максимальної потужності (ТМП) сонячної панелі по струму

Даний метод є досить стабільним для пошуку ТМП оскільки у разі, коли зміна потужності виявиться більшою за 0 то поточне значення струму за допомогою регулятора збільшується. При проходженні точки ТМП отримаємо зміну потужності меншою за нуль, що викликає необхідність зменшення заданого значення струму і цей рух спостерігається з обох боків.

3.2 Розробка інтелектуальної системи керування пошуку ТМП

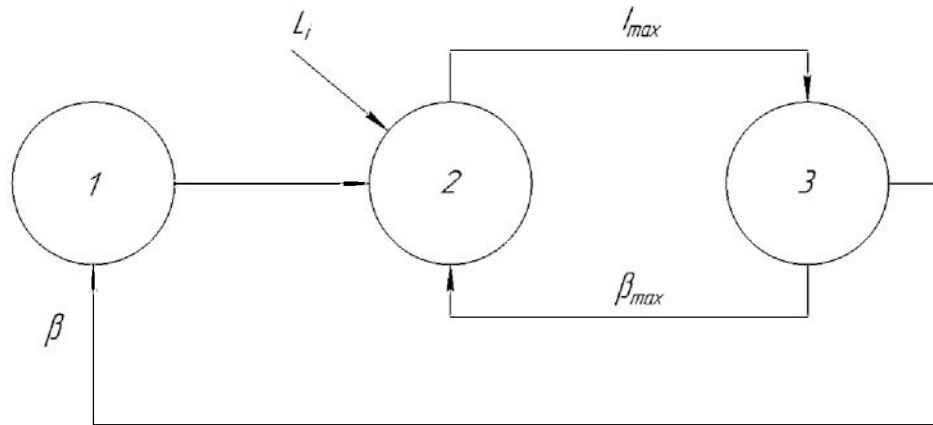
Задача пошуку ТМП полягає у відшукуванні такого способу автоматичного керування, який дозволяє визначити оптимальний режим роботи керованого об'єкта і наступній підтримці цього режиму. При цьому можна отримати необхідне значення визначеного параметра, який в цілому здатен охарактеризувати здатність даної системи до якісного управління. У нашому випадку критерієм якості або оптимальності (цільовою функцією) є коефіцієнт корисної дії (ККД) [32].

Завдання системи управління полягають у підтримці рівності між заданим і фактичним значенням керуючого сигналу.

Для автономних систем живлення з фотоелектричними елементами необхідно створювати пошукові системи управління, в яких критерій оптимальності визначається та підтримується на відповідному рівні за допомогою пошукових алгоритмів у створеній математичній моделі.

Організації керування тісно пов'язана з адаптаційними процесами з використанням систем, що самоналагоджуються. Оптимізацію можна здійснити за допомогою моделі самого об'єкта керування, причому шаг обчислення можна обирати довільно. Функціонально зазначену адаптивну систему керування за зворотним законом зображено на рис. 3.11.

Гарним підґрунтям для будови означених вище моделей можуть стати інтелектуальні системи пошуку на базі штучних нейронних мереж (ШНМ). Завдання для роботи ШНМ може бути сформовано з результатів роботи пошукового алгоритму за наведеною вище функціональною схемою. За результатами роботи даного алгоритму визначаються оптимальні значення досліджуваної величини [33].



1 – об’єкт керування, 2 – модель об’єкту керування, 3 – пристрій керування

Рисунок 3.11 – Функціональна схема керування за зворотнім зв’язком

Реалізація заданого пошукового алгоритму вимагає повної ідентифікації параметрів роботи кожного елемента досліджуваних систем і врахування усіх можливих зовнішніх впливів (факторів). ШНМ з цими завданням справляються досить добре з огляду на їхню гарну адаптивність, стійкість до зовнішніх впливів та здатність до самонавчання.

Задача дослідження – визначення ТМП фотоелектричних панелей з використанням ШНМ. Для облаштування адекватної моделі даного об’єкта можна використати широкорозповсюджені прикладні програми з особистим математичним апаратом обчислень, наприклад «MATLAB».

Параметри роботи ШНМ можна визначити шляхом використання гібридних методів [33]:

- центри базових функцій можуть бути визначені різними способами (випадковим чином, посиленням на довільний масив, статистичні дані),
- центри формування (осередки обчислень) радіальних функцій можуть бути визначені за допомогою евристичних методів, а потім коригуватися за допомогою вихідних ваг,
- запускається процедура визначення оптимальної матриці ваг ШНМ, основна задача якої – мінімізація вихідної похибки, під якою розуміють різниця між необхідним (заданим) значенням та реакцією мережі,

– оцінка похибки за допомогою класичних методів (наприклад, методів найменших квадратів).

Основний недолік зазначеного гібридного методу – отримання занадто складної структури ШНМ. Для їх спрощення доцільним є використання навчальних алгоритмів, що дозволяють суттєво спростити структуру мережі і зменшити її об'єм при збереженні бажаних властивостей та розміру похибки [33].

Приймаємо за крок (ширину) радіальної функції σ_i (для якої $i = 1, 2, \dots, n$ – ряд натуральних чисел) з огляду на отримання більш точного відображення даних – необхідно досягти перекриття всіх активних областей прихованих нейронних шарів. Значення кроку (ширини) завдання обчислень можна розрахувати за формулою [34]:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^M (a_i - c_k)^2} \quad (3.5)$$

де n – кількість шарів ШНМ,

M – кількість нейронів обраного шару,

a_i – центральний вектор,

c_k – константа, що характеризує початкове значення кроку (ширини) радіальної функції.

Для скорочення об'ємів обчислень можна припустити, що кроки (ширина) усіх радіальних функцій σ_i дорівнюють одна одній. Ці міркування також спрощують процес навчання і зводять навчальний процес до вибору (пошуку) центрального вектора (a_i) та міжнейронних ваг (w_i). При цьому може виникнути проблема появи ознак нелінійності у цільовій функції у процесі навчання. Щоб уникнути такий розвиток подій, шляхом навчання для усього масиву даних проводяться наступні дії [34]:

– обираються вектори вхідних сигналів – осередків обчислення цільової функції (x_i) і вектори заданих значень на виході ШНМ (d_i) для

$i = 1, 2, \dots, M,$

- задаються рівністю $k = M,$
- означення центрального вектора ($a_i = x_k$) як центру обчислення радіальної функції з передбачуваним значенням параметра $\sigma_i,$
- визначають вихідний сигнал i -го нейрона прихованого шару [34]:

$$y(x) = \sum_{i=1}^K w_i \varphi_i(x) + w_o \quad (3.6)$$

де w_i – вагова функція – функціональний зв'язок між окремими шарми нейронів,

φ_i – вихідне значення з i -го нейрона,

w_o – початкове значення сигналу (здви́г), значення якого залежить від моменту початку обчислень або від необхідності початкового настроювання.

- обчислюють похибку наближення $\Delta_i(x)$ до істинного значення після i -го кроку обчислень [34]:

$$\Delta_i(x) = d_i(x) - y_i(x). \quad (3.7)$$

- значення вважається знайденим, а обчислення завершеними в разі виконання умови [34]:

$$1 - \Delta_i(x) < \tau \quad (3.8)$$

де τ – задане на початку обчислень значення допустимого відхилення від істинної величини.

Перевагою застосування даного алгоритму є можливість довільного вибору центрів початкового застосування базових функцій. Мале значення припустимого відхилення (τ) збільшує необхідну кількість нейронів у прихованому шарі та ускладнює саму ШНМ, а занадто низьке – до

неадекватних результатів обчислень, тому значення τ необхідно підбирати експериментальним шляхом [34].

Результати моделювання пошукового алгоритму визначення ТМП представлено на рис 4.5, тут «криволінійні ділянки» характеризують лінії, пошуку ТМП, визначені у п. 2 даної роботи, а «точки» – результати обчислень за допомогою ШНМ, виконаної на базі стандартного блоку програми MATLAB з бібліотеки Simulink.

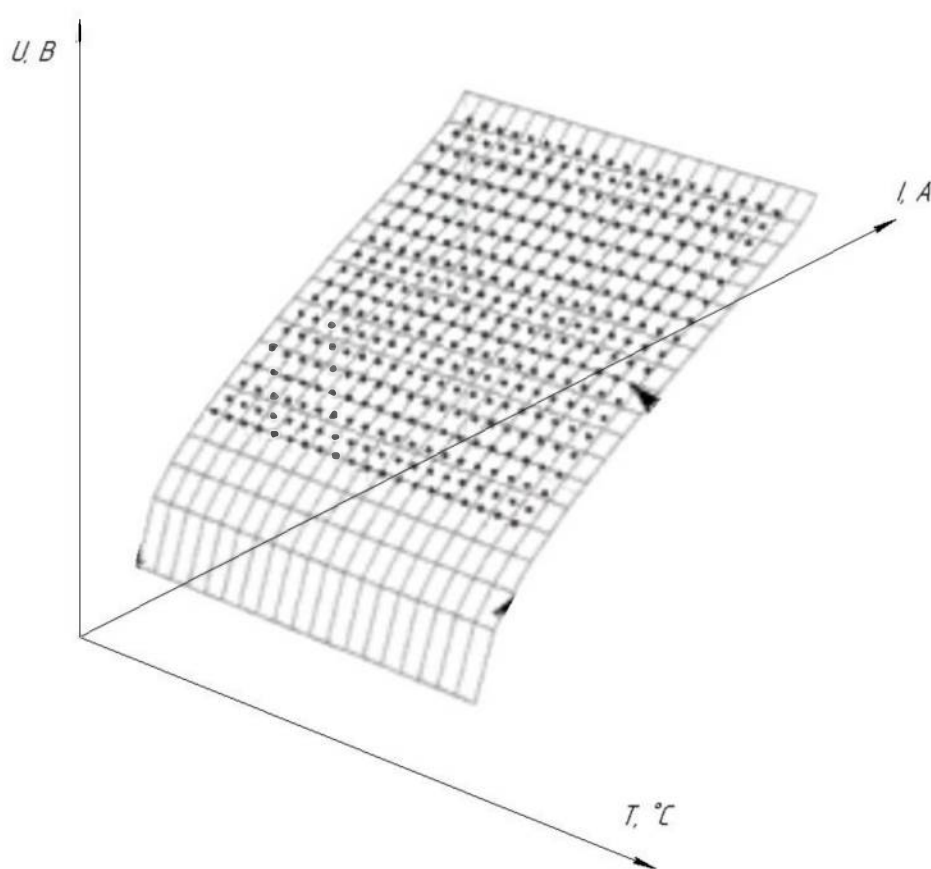


Рисунок 4.5 – Результати моделювання пошукового алгоритму визначення ТМП на ВАХ фотоелектричної панелі у залежності від її температури двома способами

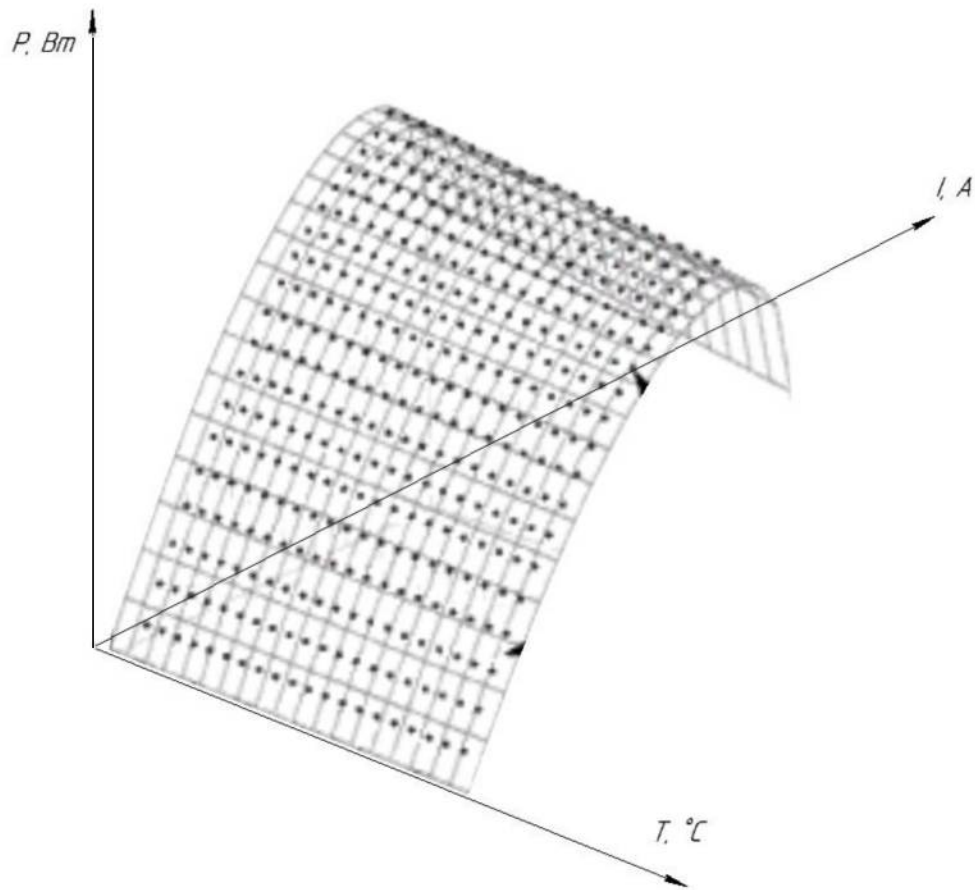


Рисунок 4.6 – Результати моделювання пошукового алгоритму визначення ТМП на ПХ фотоелектричної панелі у залежності від її температури двома способами

3.3 Висновки до розділу

Елементи приводу сонячних панелей поводять себе як нелінійні елементи, що викликає певні складнощі аналізу їх роботи та впровадження засобів керування. Для спрощення поставлених задач необхідним є їх лінеаризація або створення адекватних моделей поведінки.

Розроблена структура є досить гнучкою і дозволяє використовувати її для будь-яких типів сонячних панелей з різною потужністю з огляду на її добру адаптованість до зовнішніх впливів.

Надалі необхідним є розробка положень, що дозволяють з високим ступенем точності та високою швидкістю встановлювати положення ТМП окремої сонячної панелі та блоків сонячних панелей. На основі даних положень можна бути встановити оптимальне положення робочої точки при зміні параметрів роботи сонячних панелей: величини опромінення (інсоляції), температури панелей, напруги, струму, потужності.

Можливість реалізації даного положення впливає з того, що всі параметри роботи сонячних панелей доступні для вимірювання та перетворення. Контроль граничних значень базується на вимірюванні змінних параметрів роботи системи і на розрахунку похідних від цих параметрів. Використання моделей роботи сонячних панелей для визначення оптимальної положення робочої точки (ТМП) безумовно призводить до помилок керування через коливання при налаштуванні навколо дійсної оптимальної робочої точки роботи сонячної панелі. Для виключення цих проблем необхідно застосувати спеціальні тестові алгоритми.

4 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО МОДУЛЯ

Як було зазначено вище, основною особливістю фотоелектричних модулів при їхній роботі є сильна залежність вихідної електричної потужності від зовнішніх умов, температури та інтенсивності сонячного випромінювання (інсоляція).

Струм фотоелектричного модуля ($I_{\phi m}$) на пряму залежить від інтенсивності світлового потоку [35]:

$$I_{\phi m} = I_c - I_{n.k.e.} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot U_{\phi m}}{k_c \cdot U_T}} - 1 \right). \quad (4.1)$$

де I_c – струм, що виробляється у кремнієвому елементі під впливом сонячного випромінювання, А [35]:

$$I_c = \frac{SL_{nom.}}{SL_{ном.}} \cdot (I_{ном.} + k_c \cdot \Delta T). \quad (4.2)$$

де $SL_{nom.}$ – поточне значенні освітлення, Вт/м²,

$SL_{ном.}$ – номінально-прийняте значення освітлення $SL_{ном.} = 1000$ Вт/м²,

$I_{ном.}$ – номінальне значення струму що виробляється у кремнієвому елементі під впливом сонячного випромінювання при температурі $T = 25$ °С (298 К) та при номінально-прийнятому значенні освітлення ($SL_{ном.}$), А,

k_c – температурний коефіцієнт по струму,

U_T – термонапруга, В.

$$\Delta T = T - T_{ном.} \quad (4.3)$$

де T – поточне абсолютне значення температури, К,

$T_{ном.}$ – номінальне значення абсолютної температури, $T_{ном.} = 298$ К,

$I_{н к.е.}$ – струм насичення кремнієвого елемента, А [35]:

$$I_{н к.е.} = I_{ном. к.е.} \cdot \left(\frac{T}{T_{ном.}} \right)^3 \cdot e^{\left[\frac{q \cdot \Delta W}{p \cdot k_c} \left(\frac{1}{T_{ном.}} - \frac{1}{T} \right) \right]}. \quad (4.4)$$

$I_{ном. к.е.}$ – номінальний струм кремнієвого елемента, А,

q – величина заряду електрона, $q = 1,60217662 \cdot 10^{-19}$ Кл,

ΔW – енергія, що відповідає ширині «забороненої зони» кремнієвого елемента, еВ,

k – постійна Больцмана, $k = 1,380649 \cdot 10^{-23}$ Дж·К⁻¹,

Напруга фотоелектричного модуля ($U_{фм}$) при температурі навколишнього середовища $T = 20$ °С (293 К) змінюється зі зміною величини струму, що виробляється у кремнієвому елементі під впливом сонячного випромінювання за логарифмічним законом [35]:

$$U_{фм} = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln \left(\frac{I_c - I_{фм}}{I_n} \right) + 1. \quad (4.5)$$

Аналіз виразу (4.5) свідчить про те, що напруга на фотоелектричному модулі знаходиться у залежності від струму, що виробляється у кремнієвому елементі під впливом сонячного випромінювання, струм насичення кремнієвого елемента та значення температури самого модуля. Ця напруга без підключеного навантаження вважається напругою холостого ходу, значення якої для сучасних фотоелектричних панелей знаходиться в межах 600 – 700 мВ.

Для побудови моделі фотоелектричного модуля складемо схему заміщення, у якій враховуються властивості рекомбінації носіїв заряду.

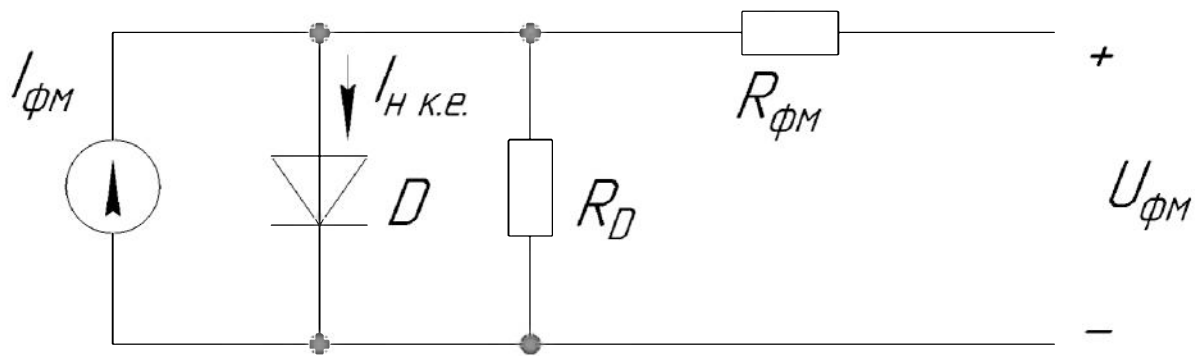


Рисунок 4.1 – Схема заміщення реальної конструкції фотоелектричного модуля

У даній схемі ідеальним джерелом струму виступає фотоелектричний модуль, а його фізичні складові представлені окремими елементами:

- властивості кремнієвого елемента замінені діодом D ,
- опір $R_{\text{фм}}$ характеризує фізичний опір усіх елементів фотоелектричного модуля,
- опір R_D характеризує втрати, пов'язані з витокм струму через діод, тому він вмикається паралельно цьому напівпровідниковому пристрою.

На основі складеної схеми можна наступним чином записати математичний вираз струму для моделі фотоелектричного модуля:

$$I_{\text{фм}} = I_c - I_{\text{н к.е.}} \cdot \left(e^{\frac{U_{\text{фм}} + I_{\text{фм}} \cdot R_{\text{фм}}}{k \cdot U_T}} - 1 \right) - \frac{U_{\text{фм}} + I_{\text{фм}} \cdot R_{\text{фм}}}{R_D}. \quad (4.6)$$

Реалізацію останнього рівняння можна здійснити шляхом моделювання у програмному середовищі MATLAB (рис. 4.2) [36].

Створена модель дозволить за різних початкових умов будувати ВАХ характеристики сонячних модулів.

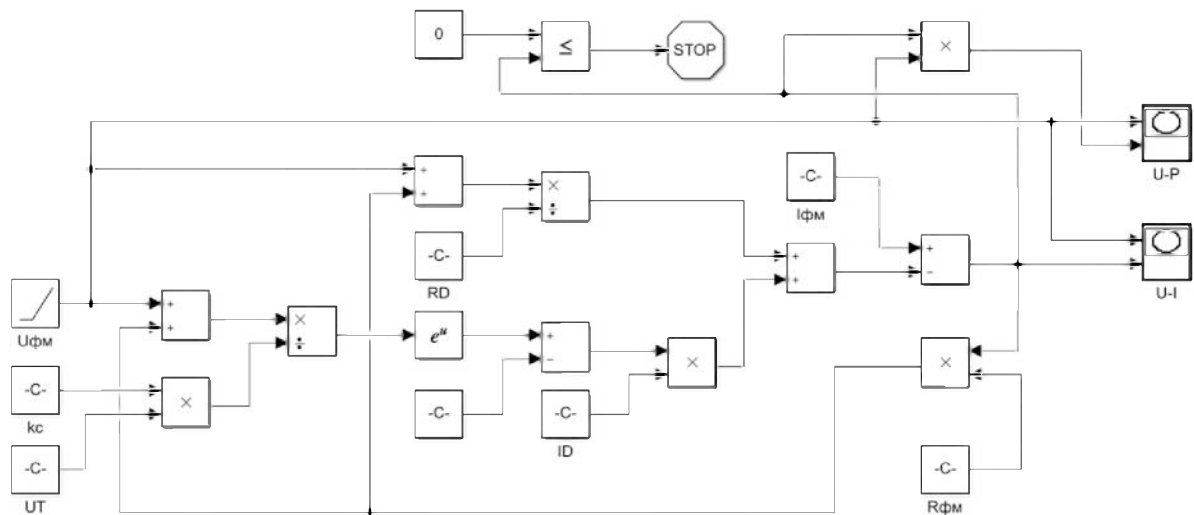


Рисунок 4.2 – Модель схеми заміщення реальної конструкції фотоелектричного модуля у програмному середовищі MATLAB

Результати моделювання ВАХ фотоелектричного модуля у програмному середовищі MATLAB при зміні сонячного випромінювання представлено на рис. 4.3.

Результати моделювання ВАХ фотоелектричного модуля у програмному середовищі MATLAB при зміні температури модуля представлено на рис. 4.4.

Результати моделювання ВАХ фотоелектричного модуля у програмному середовищі MATLAB при зміні зворотного струму насичення кремнієвого елемента представлено на рис. 4.5.

Результати моделювання ВАХ фотоелектричного модуля у програмному середовищі MATLAB при коливанні значення опору фотоелектричного модуля представлено на рис. 4.6.

Результати моделювання ВАХ фотоелектричного модуля у програмному середовищі MATLAB при коливанні значення опору кремнієвого елемента представлено на рис. 4.7.

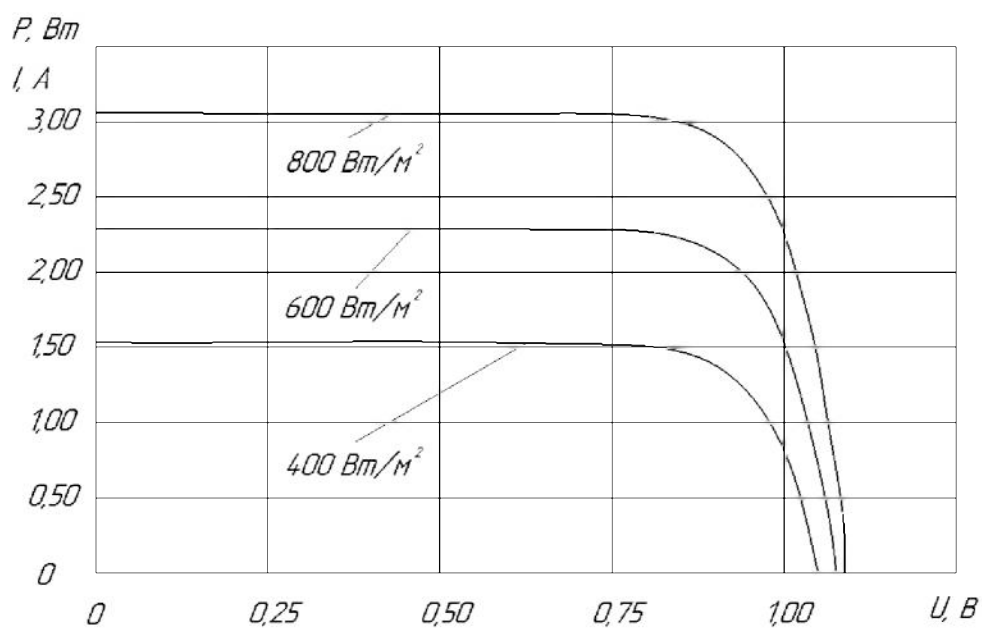


Рисунок 4.3 – Результати моделювання ВАХ фотоелектричного модуля у програмному середовищі MATLAB при зміні сонячного випромінювання

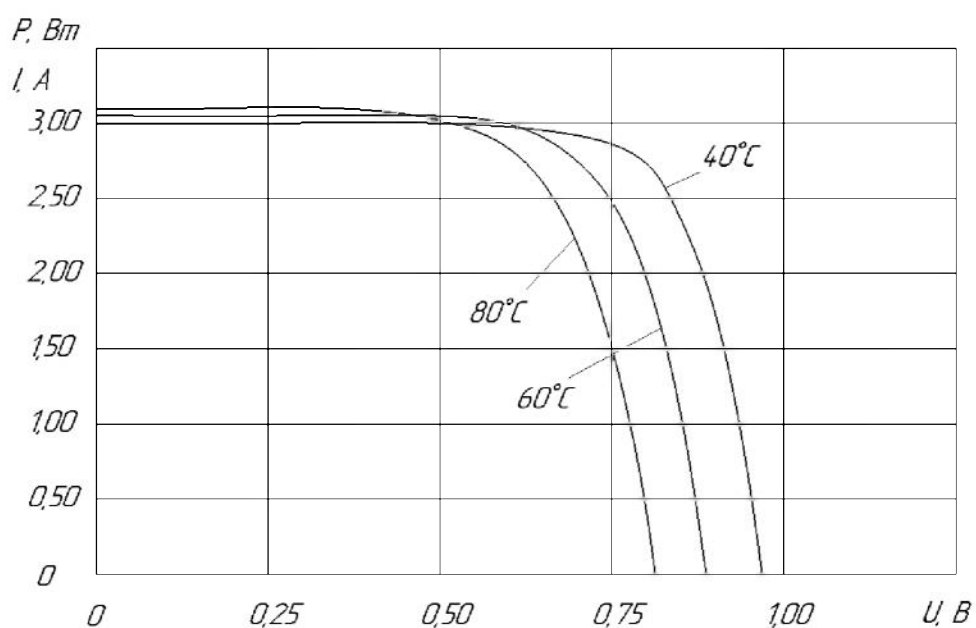


Рисунок 4.4 – Результати моделювання ВАХ фотоелектричного модуля у програмному середовищі MATLAB при зміні температури модуля

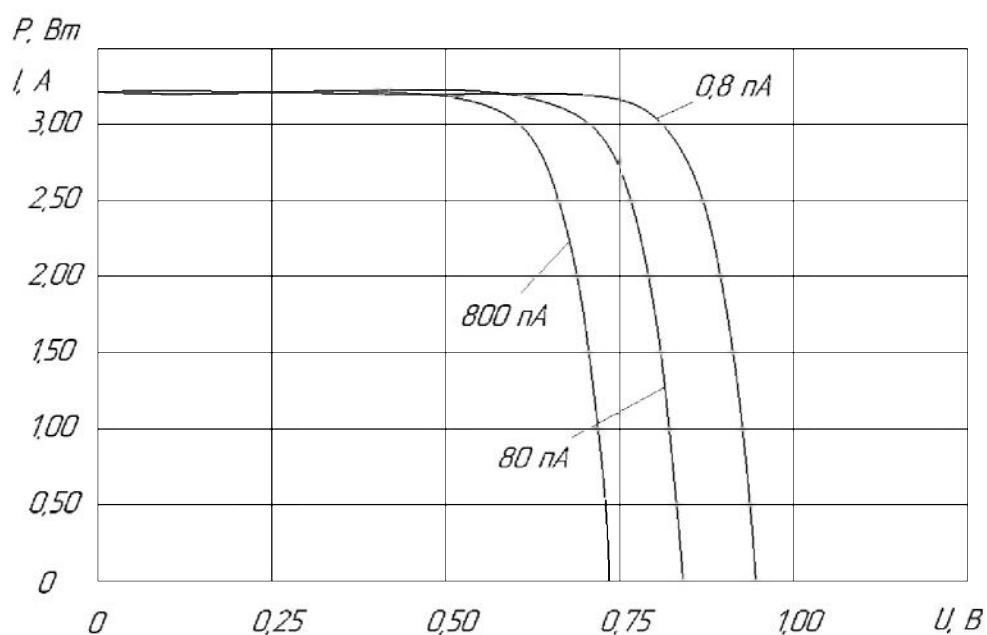


Рисунок 4.5 – Результати моделювання ВАХ фотоелектричного модуля у програмному середовищі MATLAB при зміні зворотного струму насичення кремнієвого елемента

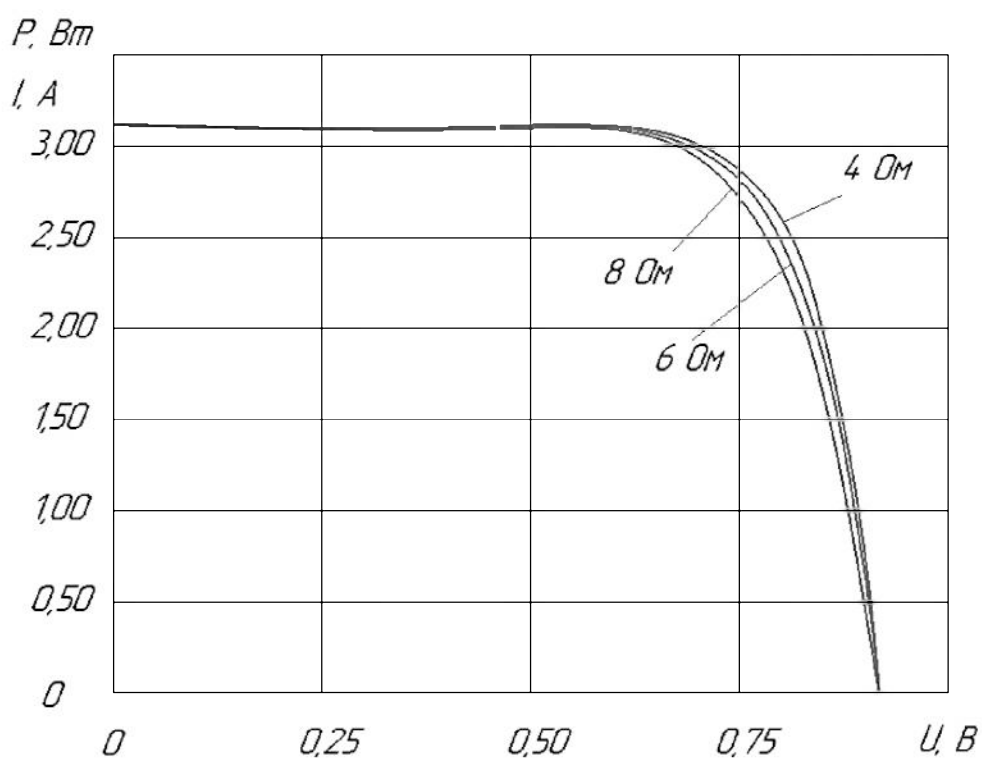


Рисунок 4.6 – Результати моделювання ВАХ фотоелектричного модуля у програмному середовищі MATLAB при коливанні значення опору фотоелектричного модуля

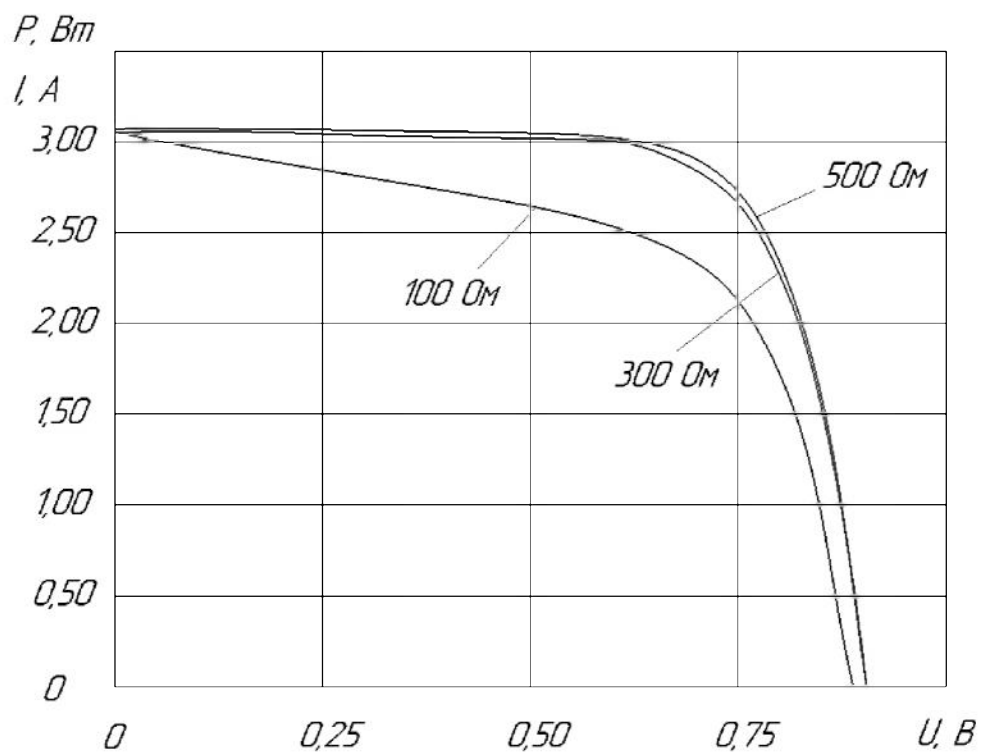


Рисунок 4.7 – Результати моделювання ВАХ фотоелектричного модуля у програмному середовищі MATLAB при коливанні значення опору кремнієвого елемента

ВИСНОВКИ

Проблеми електропостачання окремих об'єктів від загальних централізованих мереж змушують до пошуку альтернативних способів енергоживлення.

Значний інтерес на цьому шляху викликають системи з використанням енергії відновлюваних джерел енергії – вітру та сонця.

Аналіз можливостей використання альтернативної енергії для вирішення проблем електропостачання показав, що сонячна енергетика може стати гарним підґрунтям для вирішення поставленої задачі. Гарним стимулом при цьому можуть бути провідні світові технології в сфері сонячної енергетики, які дають можливість для повної та швидкої реалізації проблем індивідуального енергопостачання.

Ідея виконання роботи базувалася на ефективному використанні сучасних рішень в області фотоелектричних джерел енергії та силової перетворювальної техніки. Було доведено доцільність і ефективність використання фотоелектричних модулів для автономного живлення технологічного об'єкта.

При виконанні роботи була відповідним чином сконфігурована найоптимальніша системи керування роботою фотоелектричних модулів. Були визначені системні чинники, які у кожному конкретному випадку визначали ефективність роботи фотоелектричної станції (її потужність, значення струму і напруги, поточні втрати енергії та інш.).

У роботі було розроблено пошукову інтелектуальну систему управління потужністю фотоелектричних модулів з використанням багатошарових штучних нейронних мереж. Результати роботи ШНМ досить добре збігаються з результатами класичних розрахунків параметрів роботи фотоелектричних модулів на базі загальноприйнятих способів обчислення з урахуванням зміни початкових даних і зовнішніх факторів.

Для створення робочої моделі фотоелектричного модуля було використано прикладне програмне середовище MATLAB. Модель була створена для наведеної схеми заміщення фотоелектричного модуля, яка враховувала експоненційний режим роботи фотоелектричних елементів та нелінійність характеристик кремнієвої складової модуля. За допомогою моделі окремо була визначена ступінь впливу окремих чинників (сонячна інсоляція, температура модуля, властивості кремнієвого елемента, наявні опори) на вихідні параметри роботи фотоелектричного модуля (струм, напруга, потужність). Були побудовані відповідні графічні залежності, що можуть бути основою для розробки рекомендацій по кращому облаштуванню фотоелектричних станцій за умови отримання найбільшого економічного та технологічного ефекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

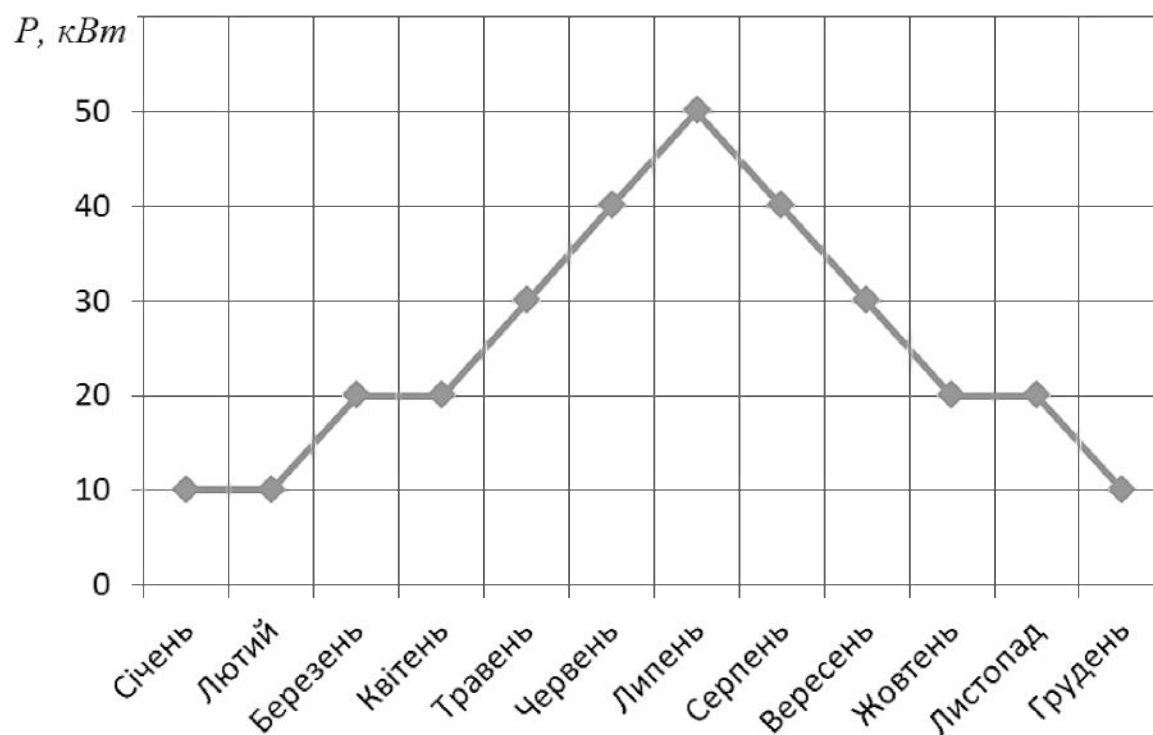
1. Щербина О.М. Енергія для всіх: технічний довідник з енергоощадності та відновних джерел енергії / О. Щербина. – Ужгород: Вид. В. Падяка, 2007. – 340 с.
2. Бондаренко В. И., Варламов Г. Б., Вольчин И. А. Энергетика: история, настоящее и будущее. От огня и воды к электричеству: монография. К., 2011. 264 с.
3. Ахмедов Р.Б. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / Р.Б. Ахмедов. – М.: Знание, 1988. – 218 с.
4. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Проект оновленої «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/article?art_id=2220.
5. Блок В.М. Электрические сети и системы: Учебное пособие для электроэнергетических специальных вузов. – М.: Высш. шк., 1986. – 430 с.
6. Зорін В.В. Електричні мережі та системи: навчальний посібник для студентів вищ. техн. навч. закл / В.В. Зорін, Є.А. Штогрин, Р.О. Буйний – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-поліграф», 2011. – 248 с.
7. Бурячок Т.А. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі / Т.А.Бурячок, В.Н. Кліменко, Ю.А.Ландау, І.Я.Сігал // Енергетика: історія, сьогодення і майбутнє. – К.: Оптима, 2011. – 391 с.
8. Праховник А. В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения. – К.: «Освита Украины», 2007. – 464 с.
9. Дев'яткіна С. С., Шкварницька Т. Ю. Альтернативні джерела енергії: навч. посібник. / С. С. Дев'яткіна. - К.: НАУ, 2006. – 92с.

10. Андреев В.М. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. // Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. – Л.: Наука, 1989. – 310 с.
11. Системи акумулювання і перетворення енергії відновлювальних джерел: дис... д-ра техн. наук: 05.14.08 / Кудря Степан Олександрович ; НАН України, Інститут електродинаміки. – К., 1996. – 549 с.
12. Бут Д.А., Алиевский Б.Л., Мизюрин С.Р., Васюкевич П.В. Накопители энергии / Под ред. Д.А. Бута. - М.: Энергоатомиздат, 1991. – 400 с.
13. Кедринский И.Е., Яковлев В.Г. Li-ионные аккумуляторы Красноярск: ИПК "Платина", 2002 – 266 с.
14. Теньковцев В.В., Ценер Б.И. Основы теории и эксплуатации герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов.-Л.: Энергоатомиздат, 1985– 96 с.
15. Таганова А.А., Пак И.А. Герметичные химические источники тока. Сп.б.: Химиздат, 2003. – 205 с.
16. Nomura K. What role will supercapacitors play in the design of future energy systems? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.newtecheurope.com/2018/01/18/rolewill-supercapacitorsplay-design-futureenergy-systems/
17. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки/Н.В. Харченко – М.: Энергоатомиздат, 1991.
18. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей: Пер. с англ. Под ред. М.М.Колтуна. - М.: Энергоатомиздат, 1983. – 195 с.
19. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К., Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И.Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 317с.

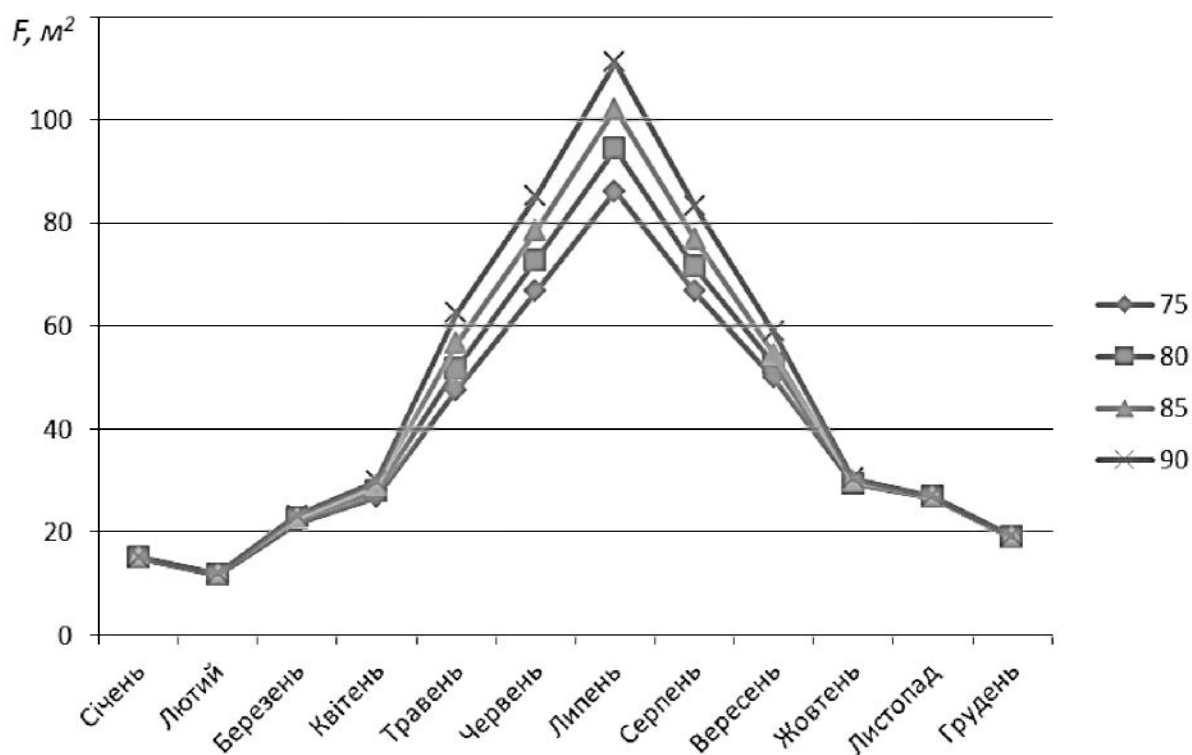
20. Мак-Вейг Д. Применение солнечной энергии / Д. Мак-Вейг ; пер. с англ. Г. А. Гухман; ред. Б. В. Тарнижевский. – М. : Энергоиздат, 1981. – 212 с.
21. Дудюк Д.Л. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі: Навчальний посібник / Д.Л. Дудюк, С.С. Мазепа, Я.М. Гнатишин. – Львів: Магнолія 2006. – 2008. – 188 с.
22. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.solaris-shop.com/ja-solar-jap72s01-330-sc-330w-poly-solar-panel/>
23. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cutt.ly/JhYhgml>
24. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3upsa.com.ua/products/akb-gel-pulsar-12v-300ah>
25. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cutt.ly/7hYc5xa>
26. Chao Zhang, Dean Zhao, “MPPT with Asymmetric Fuzzy Control for Photovoltaic System”, IEEE Africon, 2009.
27. Андреев В.М. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. // Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. – Л.: Наука, 1989. – 310 с.
28. Chen-Chi Chu, Chieh-Li Chen, «Robust maximum power point tracking method for photovoltaic cells: A sliding mode control approach», ScienceDirect Solar Energy, March 2009.
29. Мак-Вейг Д. Применение солнечной энергии / Д. Мак-Вейг ; пер. с англ. Г. А. Гухман ; ред. Б. В. Тарнижевский. – М. : Энергоиздат, 1981. – 212 с.
30. Курейчик В. М., Лебедев Б. К., Лебедев О. К. Поисковая адаптация: теория и практика. – М.: Физматлит, 2006. – 272 с.
31. Subiyanto, A Mohamed, M A Hannan, “Maximum Power Point Tracking in Grid Connected PV System Using A Novel Fuzzy Logic Controller”, IEEE Student Conference on Research and Development, November 2009.

32. Каргиев В.М. КПД солнечных элементов и модулей. // Возобновляемая энергия. – 1998. – № 2. – с. 23.
33. Аникин Д.В. Краткий обзор перспектив развития интеллектуальных систем: [Электронный ресурс] / Д.В. Аникин. – Режим доступа: <http://infotech.com.ua/view-articles/id-kratkii-obzor-perspektivrazvitiya-intellektualnyh-sistem-26.htm>
34. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд., испр. : Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006. – 1104 с.
35. Энергетические режимы источников энергии космических аппаратов/ учебное пособие. – М.: Издательский дом МЭИ, 1991. – 92 с.
36. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с.
37. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
36. Справочник по электроустановкам высокого напряжения. /Под ред. Баумштейна И.А. и Хомякова В.М. – М.: Энергия, 1981. – 656 с.
37. Правила безопасной эксплуатации энергоустановок. – Киев, 1998. – 142 с.

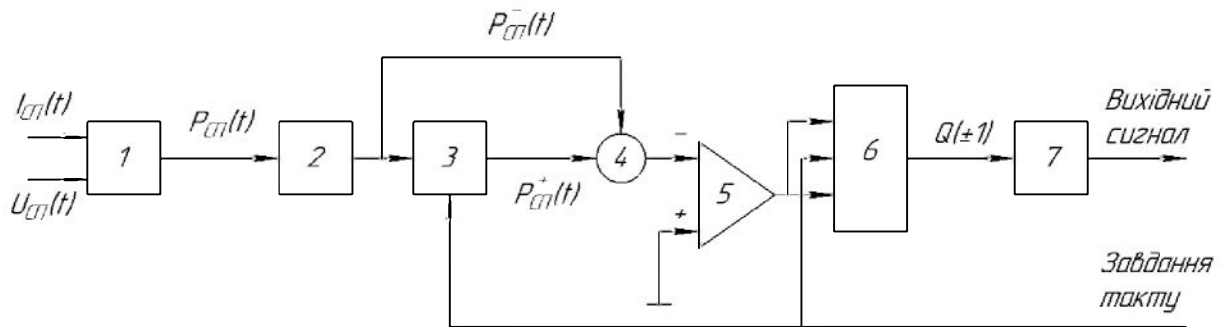
ДОДАТОК А. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА



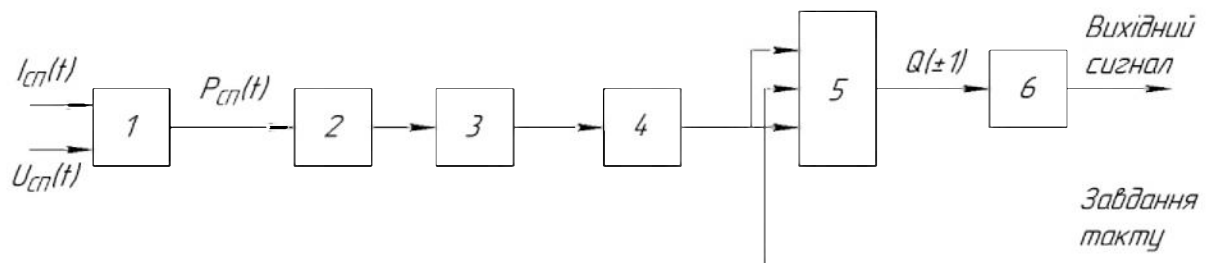
Графік споживання електричної енергії приводом протягом року



Графік, що відображає необхідну площу фотоелектричного поля у залежності від кута нахилу панелей

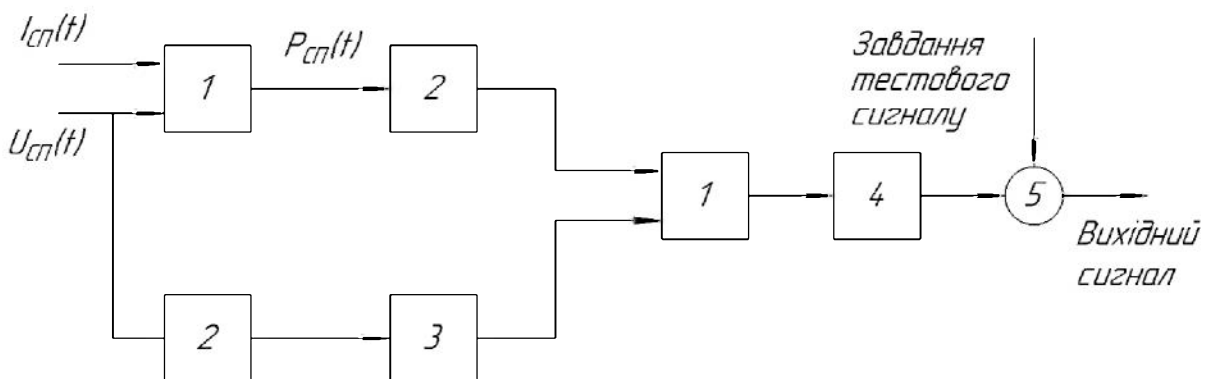


1 – множник, 2 – низькочастотний фільтр, 3 – вузол порівняння і зберігання, 4 – суматор, 5 – тригер, 6 – логічний елемент, 7 – інтегратор
 Реалізація методу пошукових коливань для виявлення точки максимальної потужності



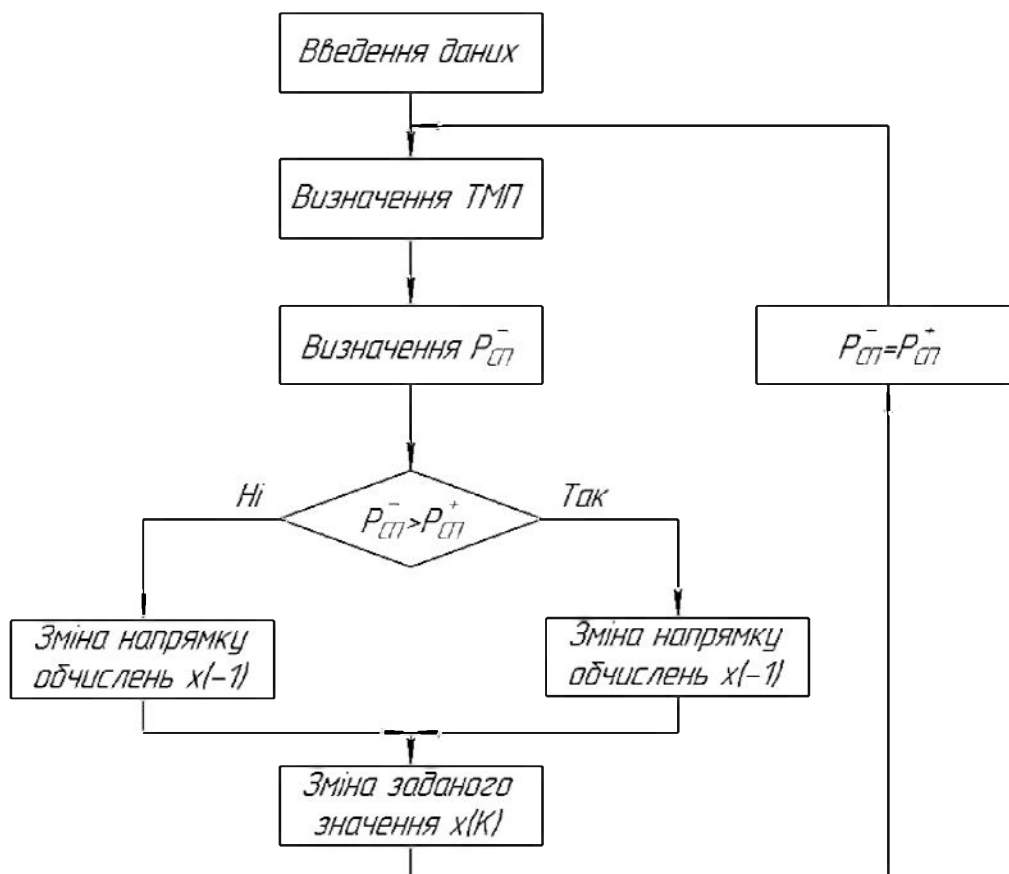
1 – множник, 2 – диференціатор, 3 – тригер, 4 – обертач, 5 – логічний елемент, 6 – інтегратор

Реалізація аналогового методу для виявлення точки максимальної потужності

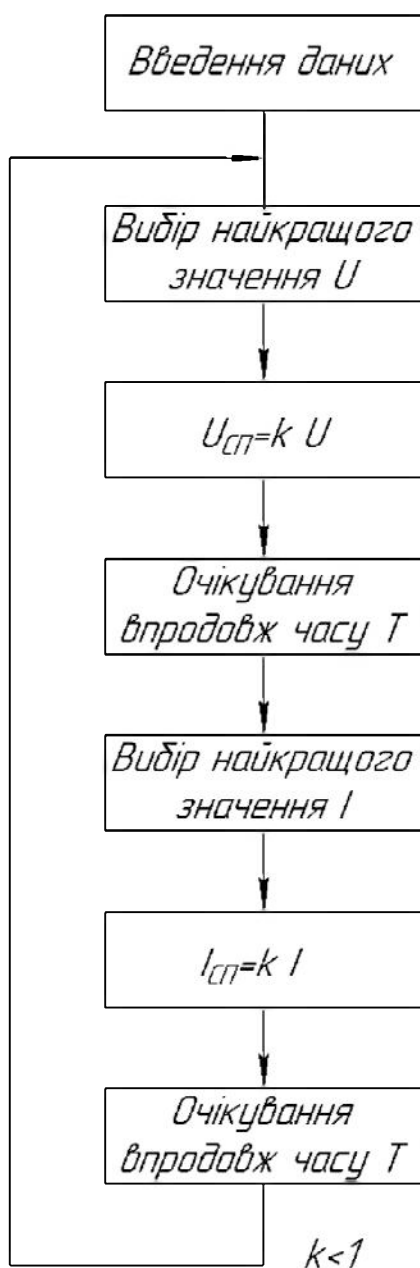


1 – множник, 2 – високочастотний фільтр, 3 – обертач, 4 – інтегратор, 5 – суматор

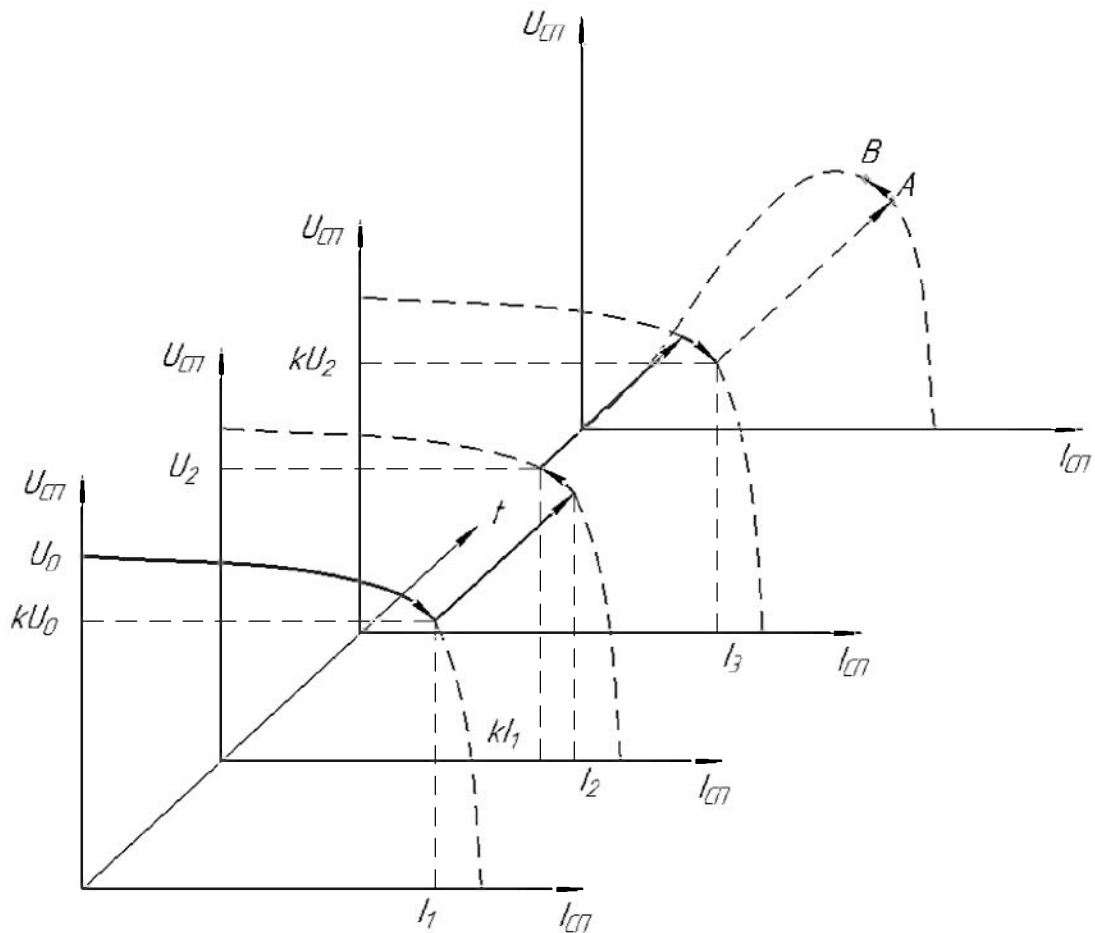
Реалізація аналогового методу множення для виявлення точки максимальної потужності



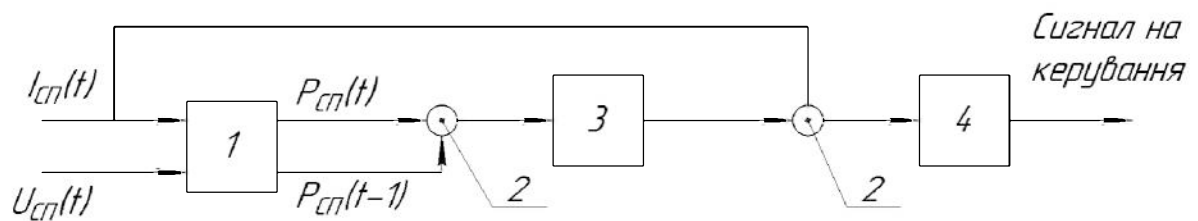
Алгоритм, що ілюструє цифровий метод пошукових коливань



Алгоритм, що реалізує самоадаптуючу систему пошуку точки
максимальної потужності

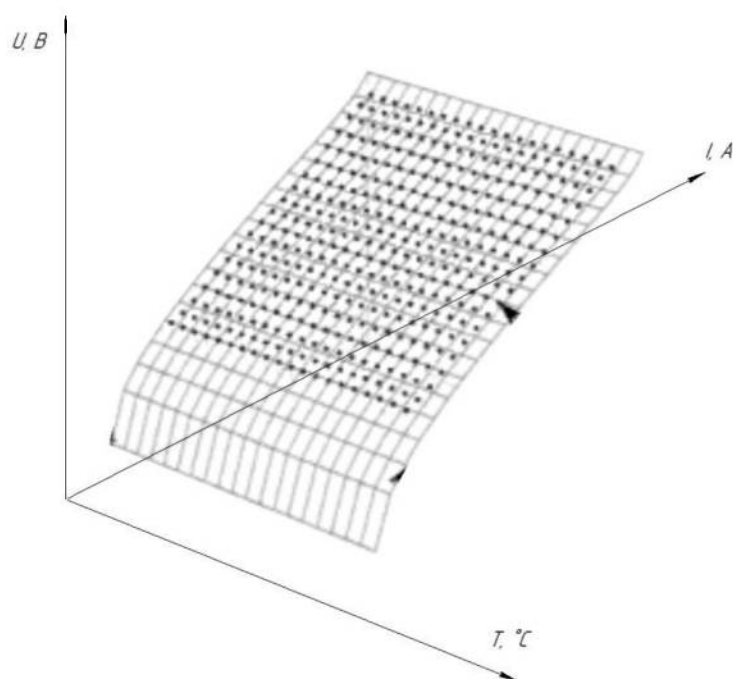


Графічна інтерпретація самоадапуючої системи пошуку точки
максимальної потужності

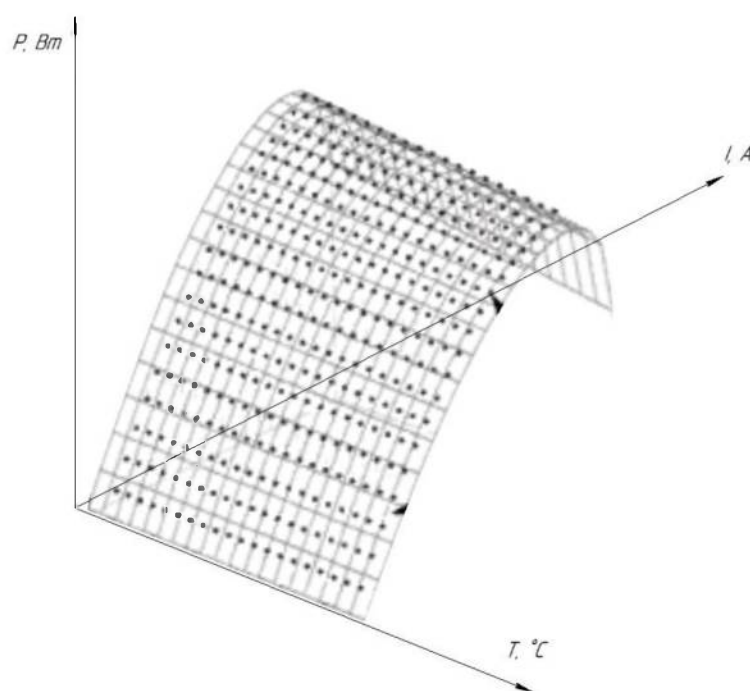


1 – множник, 2 – суматор, 3 – ПІ-регулятор потужності, 4 – ПІ-регулятор
струму

Застосування ПІ-регуляторів для знаходження точки максимальної
потужності (ТМП) сонячної панелі



Результати моделювання пошукового алгоритму визначення ТМП на ВАХ фотоелектричної панелі у залежності від її температури двома способами



Результати моделювання пошукового алгоритму визначення ТМП на ПХ фотоелектричної панелі у залежності від її температури двома способами

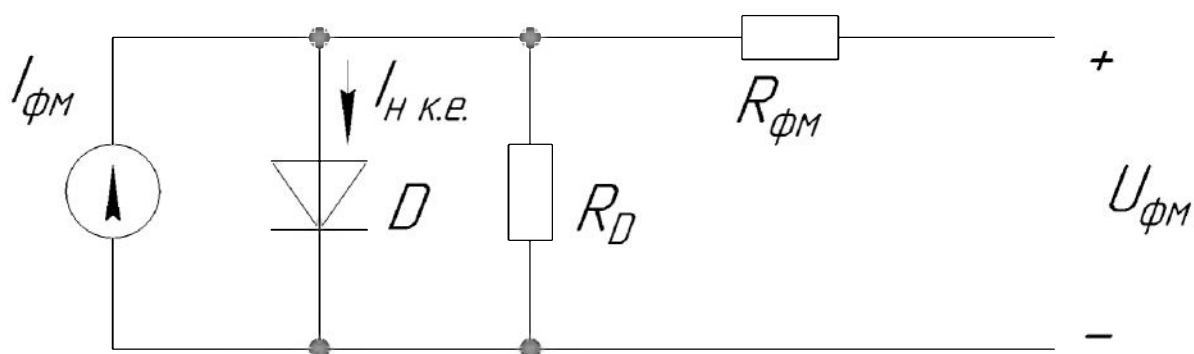
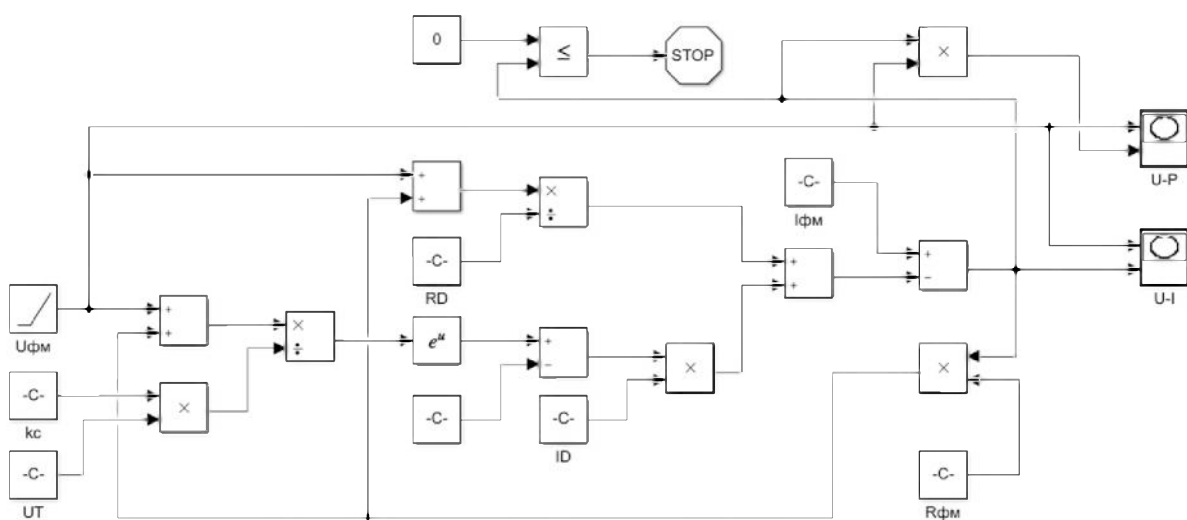
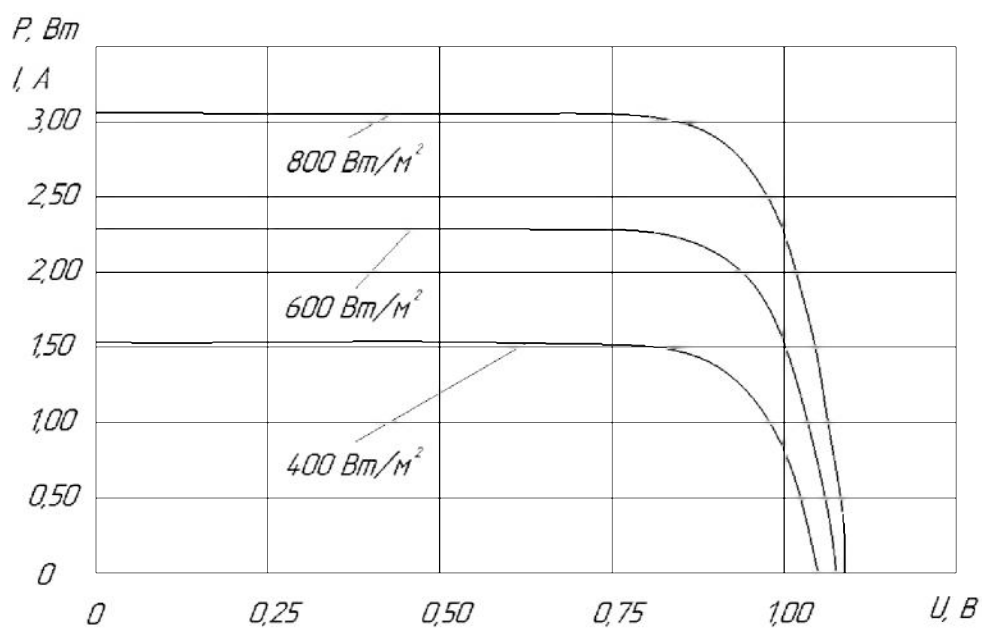


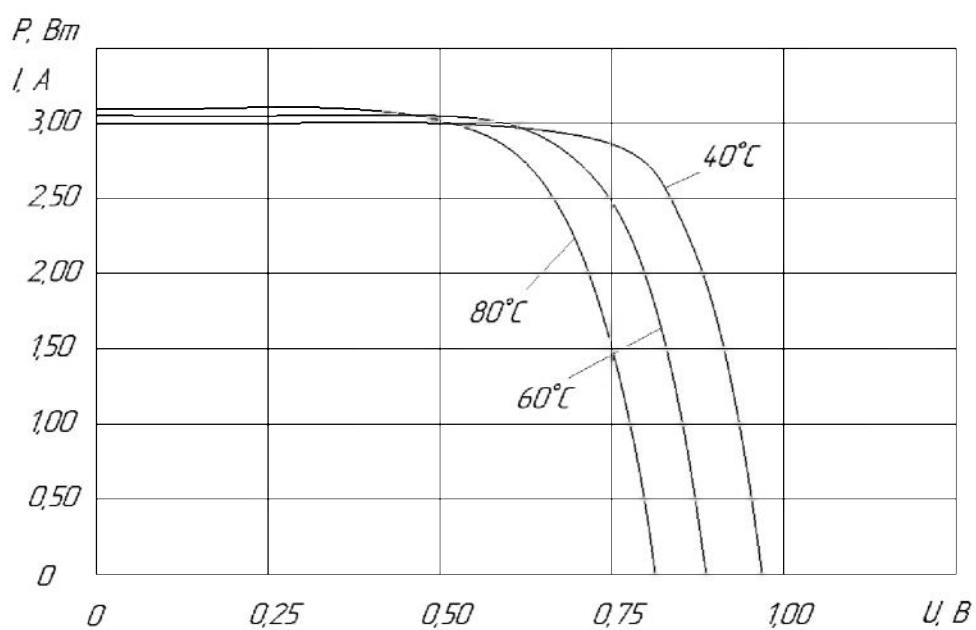
Схема заміщення реальної конструкції фотоелектричного модуля



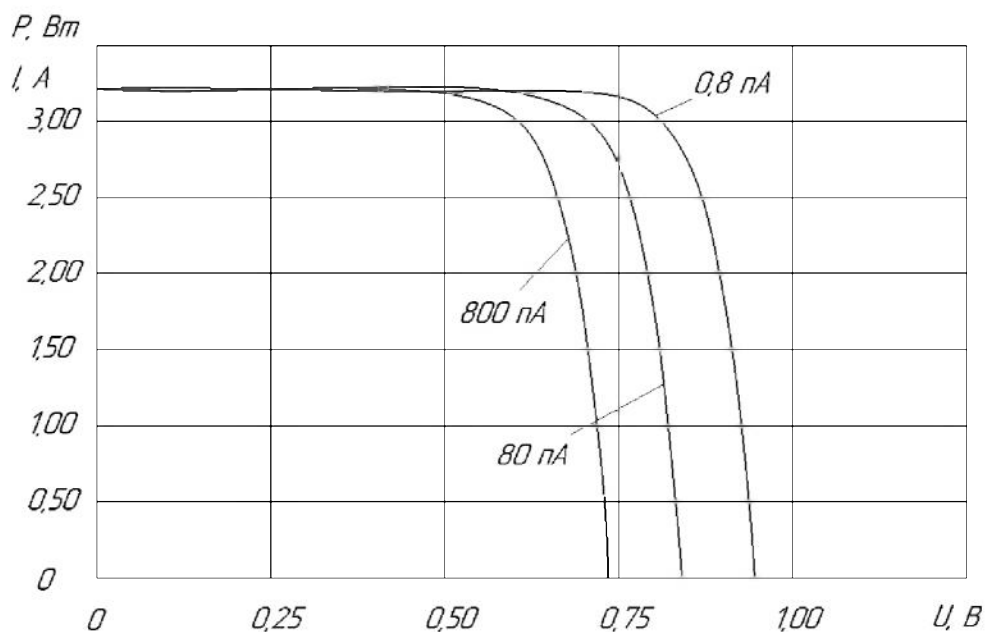
Модель схеми заміщення реальної конструкції фотоелектричного модуля у програмному середовищі MATLAB



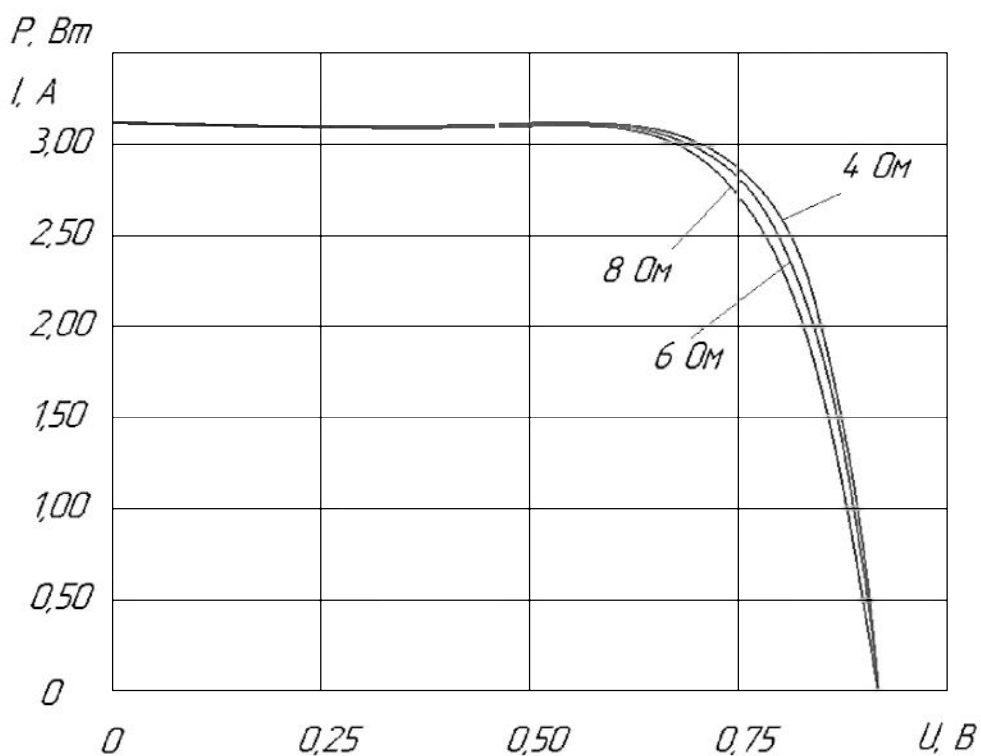
Результати моделювання ВАХ фотоелектричного модуля у програмному середовищі MATLAB при зміні сонячного випромінювання



Результати моделювання ВАХ фотоелектричного модуля у програмному середовищі MATLAB при зміні температури модуля



Результати моделювання ВАХ фотоелектричного модуля у програмному середовищі MATLAB при зміні зворотного струму насичення кремнієвого елемента



Результати моделювання ВАХ фотоелектричного модуля у програмному середовищі MATLAB при коливанні значення опору фотоелектричного модуля

ДОДАТОК Б. ОГЛЯД ПИТАНЬ БЕЗПЕКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Широке застосування електричної енергії в промисловості супроводжується потенційною небезпекою поразки електричним струмом внутрішніх (поразка органів подиху, порушення роботи серця) або зовнішніх (опіки) органів обслуговуючого персоналу. Положення погіршується ще тим, що відсутні які-небудь зовнішні ознаки, які застерігають людину від небезпеки, що йому загрожує.

Наслідки дії електричного струму на організм людини залежать, в основному, від значення струму, що проходить через тіло людини, і тривалості його дії. У залежності від цього розрізняють:

- відчутний струм — найменше значення струму, вплив якого відчуває людина. Значення його коливається від 0,5 до 2 мА при змінному струмі частотою 50 Гц і 5 - 7 мА — при постійному струмі;

- струм, що відпускає - найбільше (граничне) значення струму, при якому людина зберігає здатність самостійно звільнитися від контакту з частинами, що знаходяться під напругою;

- струм, що не відпускає - найменше значення струму, при якому людина втрачає здатність керувати м'язами, не може звільнитися самостійно від контакту і, отже, піддається смертельній небезпеці.

Для визначення значення короткочасного безпечного струму $I_{к.б}$ користуються експериментальною формулою американського дослідника Дальзієля (для визначення струмів понад 40-50 мА і часу впливу від 0,03 до 3 с), мА:

$$I_{к.б} = \frac{116}{\sqrt{t}}$$

де t — тривалість впливу струму на людину, с.

Комісія Науково-технічної спілки енергетичної промисловості по встановленню критеріїв безпеки електричного струму на підставі узагальнення багаторічних досліджень рекомендує установити наступні значення найбільших припустимих для людини струмів у залежності від тривалості їх дії (табл. Б.1).

Таблиця Б.1 – Припустимі струми для людини

t, с	0,2	0,5	0,7	1	30	Понад 30
Iл, мА	250	100	75	65	6	1

Реакція організму при поразках електричним струмом і можливі наслідки поразки залежать від наступних основних факторів: параметрів електричного кола (напруги, опору), умов, що оточують (температури, вологості, тиску), шляху проходження струму через тіло людини, психологічного стану людини та ін.

Найбільш небезпечний струм, що проходить через область серця, органи подиху і мозок. Постійний струм менш небезпечний у порівнянні зі змінним. Електричний струм промислової частоти (50—60 Гц) є найбільш небезпечним для людини. Збільшення частоти струму до 2000—2500 Гц мало впливає на зменшення його небезпечного впливу, однак подальше збільшення частоти струму помітно зменшує ступінь небезпеки електричного струму, що використовується в медицині. Важкість поразки організму за інших рівних умов залежить від хімічного складу крові, психологічного стану людини та ін. У стані сп'яніння людини або при несподіваній його поразці дія струму стає більш небезпечною.

Основними факторами, які визначають значення струму, що проходить через тіло людини, є опір тіла людини і значення прикладеної до тіла напруги (напруга дотику). Опір тіла людини залежить від розмірів поверхні дотику і його характеру (щільне охоплення або випадкове

торкання), стану шкіри (товщина рогового шару, її вологість, забруднення), значення прикладеної напруги і значення та роду протікаючого струму. Для умов промислових підприємств варто приймати нижню границю опору тіла людини, тобто 1000 Ом. Як гранично безпечне значення тривалого змінного струму в нашій країні нормативні матеріали пропонують 30 мА. Діючими правилами і нормами не розмежовується небезпека між постійним і змінним струмом. Однак вважають, що для постійного струму значення тривалого припустимого струму складає 60-80 мА.

Знаючи безпечне значення тривалого струму ($I_{д.б}$) і мінімальне значення опору тіла людини $R_{л}$, можна визначити припустиме безпечне значення напруги дотику:

$$U_{np.дом} = I_{д.б} \cdot R_{л} = 0,03 \cdot 1000 = 30 \text{ В}.$$

Надійність роботи електроустановок і систем електропостачання багато в чому залежить від режиму нейтралі джерел і приймачів трифазного струму. Електричні мережі напругою до 1000 В працюють як з ізолюваною, так і з заземленою нейтраллю. При виборі режиму роботи нейтралі враховується рівень електробезпеки мережі, як одна з основних вимог.

У відношенні електробезпеки найбільш небезпечним є випадок одночасного дотику людини до відкритих струмоведучих частин двох фаз. Значення струму, що проходить через тіло людини, $I_{л}$ у цьому випадку визначається напругою мережі й опором тіла людини і не залежить від режиму роботи нейтралі мережі:

$$I_{л} = \frac{U_{л}}{R_{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\phi}}{R_{л}},$$

де $U_{\text{л}}$, $U_{\text{ф}}$ — відповідно лінійна і фазна напруга мережі.

Організація безпечної праці на виробництві покладена на адміністративно-технічний персонал підприємства. Директор, головний інженер, головний механік, головний енергетик забезпечують безпечні умови праці. Правильна організація роботи з охорони праці має першочергове значення для підвищення продуктивності праці, ліквідації причин нещасних випадків, попередження травматизму, професійних отруєнь та захворювань. Основними завданнями адміністративно-технічного персоналу підприємств щодо охорони праці є забезпечення безпеки та санітарного стану обладнання та інструменту, виробничих та допоміжних приміщень та робочих місць, боротьба з причинами виробничого травматизму, професійних отруєнь та захворювань; проведенні інструктажу та навчання з техніки безпеки та промислової санітарії; естетизація виробництва; організація контролю за здійсненням усіх цих заходів.

Підприємство, що розглядалося, виконує транспортування і постачання електричної енергії, а також проводить експлуатацію та ремонт електроустаткування підстанцій і ЛЕП. Далі розглядатимуться шкідливості, котрі пов'язані з переліченими виробництвами та заходи щодо їх усунення до прийнятних норм.

Небезпека враження електричним струмом серед інших небезпек відрізняється тим, що людина не в змозі без спеціальних приладів визначити наявність напруги дистанційно, як наприклад, рухомі частини, розігріті об'єкти, відкриті люки, незагратовані межі майданчиків, що знаходяться на висоті і т.п.

Вона визначається дуже запізно – коли людина вже вражена струмом. Через те слід приділити особливої уваги захисту від ураження електричним струмом. Захисні заходи повинні цілком забезпечувати безпеку, але вимоги до них мусять бути розумними, без “перестраховки”.

Електричний струм, проходячи через живі тканини, завдає термічного, електричного та біологічного впливу. Це призводить до всіляких порушень в організмі, викликаючи як місцеві ушкодження тканин та органів, так і загальне враження організму. Розглянемо різні види електроушкоджень.

Опіки можливі при проходженні через тіло людини значної сили струму. Електричні знаки (позначки струму) виникають під час сильного контакту із струмопровідними частинами.

Електрометалізація шкіри – проникнення під поверхню шкіри часточок металу внаслідок розхлюпування та покрутів його під впливом струму, наприклад, під час горіння дуги.

Електричний удар спостерігається під час впливу малого струму – звичайно до кількох сот міліампер та відповідно під час невеликої напруги, як правило, до 1000 В. При такій малій потужності виділення теплової енергії мізерне і не викликає опіку. Струм діє на нервову систему і на м'язи, причому може виникнути параліч вражених органів. Параліч дихальних м'язів, а також м'язів серця, може призвести до смертельної дії.

Електроустаткуваннями називаються устаткування, в котрих виробляється, перетворюється, розподіляється та споживається електроенергія.

У різних електроустаткуваннях різноманітна небезпека враження електричним струмом, через те що параметри електроенергії, умови експлуатації електрообладнання та характер середовища приміщень, у яких воно влаштовано, вельми різні. Комплекс захисних заходів мусить відповідати виду електроустаткування та відповідати умовам застосування електрообладнання, забезпечуючи належну безпеку.

Небезпека враження, а також можливі ускладнення перш за все залежать від номінальної напруги. За напругою розрізняються електроустаткування до 1000 В та електроустаткування напругою вище 1000 В.

Розрізняються електроустаткування з великим струмом, що заземлюється, у якому струм однополюсного глухого замикання на землю перевищує 500 А, і електроустаткування з малими струмами замикання на землю, в яких струм однополюсного глухого замикання на землю дорівнює або менше 500 А.

Дуже істотний вплив на безпеку умов середовищ, від яких залежить стан ізоляції а також електричний опір тіла людини.

Підвищена вологість знижує опір ізоляції. Окрім того, відмічено збільшення ємкості гнучких кабелів з гумовою ізоляцією при підвищенні вологості повітря, що можна пояснити змінами діелектричного проникання крізь ізоляцію під час зміни вологості.

Сухими приміщеннями називаються такі приміщення, в яких відносна вологість повітря не перевищує 60%.

Вологими приміщеннями називаються приміщення, в яких відносна вологість повітря більше 60%, але не перевищує 75%. У таких приміщеннях можливе короткочасне виділення пари та конденсація вологи у невеликій кількості.

Сирими приміщеннями називаються такі приміщення, в яких відносна вологість повітря тривалий час перевищує 75%, але не досягає 100%. Приміщення, в яких відносна вологість повітря близька до 100% (стіна, підлога, стеля та предмети, що знаходяться у приміщенні, вкриті вологою), називаються особливо сирими.

Підвищена температура прискорює старіння ізоляції, що призводить до зниження її опору і навіть до руйнування.

Під час підвищеної температури повітря знижується опір тіла людини внаслідок змочування шкіри виділеним потом. За цих обставин підвищена температура повітря знижує безпеку експлуатації електроустаткування.

Приміщення, в яких температура повітря тривалий час перевищує +30 градусів за Цельсієм, називаються спекотними приміщеннями.

Струмопровідна підлога (металева, земляна, залізобетонна, цегляна, ксилолітова і т.п.), на котрій стоїть людина, що торкається поверхні, яка знаходиться під напругою, різко зменшує опір ланцюга людини. Те ж саме спостерігається і при одночасному торканні до корпусу технологічного устаткування, котрий має зв'язок із землею (металевих конструкцій будівель та споруд) та до поверхні електроустаткування, що природно або випадково знаходяться під напругою.

В електроустановках застосовуються наступні технічні засоби захисту:

- 1) застосування малих напруг;
- 2) електричне розподілення мережі;
- 3) контроль та профілактика пошкоджень ізоляції;
- 4) компенсація ємкостей складової струму заземленням на ґрунті;
- 5) захист від випадкових доторків;
- 6) захисне заземлення;
- 7) занулення;
- 8) подвійна ізоляція;
- 9) захисне відключення.

Повітряні лінії електропередачі (ПЛ) справляють різноманітний вплив на навколишнє середовище. При їх спорудженні вилучається земля під опори в постійне використання і в короткострокову оренду на час будівництва (смуга землі вдовж траси ПЛ), вирубаються просіки та т.д.

ПЛ високої і надвисокої напруги (ВН і ПВН) мають високий рівень напруженості електричного поля поблизу проводів ЛЕП, що може викликати наведення напруги на машинах і механізмах, що працюють поблизу ЛЕП ПВН, небезпечного для людей і тварин. Крім того, ПЛ створює радіоперешкоди, акустичні шуми при інтенсивних коротких розрядах на поверхні проводів, а також підвищену концентрацію озону і оксиду азоту в повітрі поблизу ПЛ.

Для ПЛ напругою до 330 В включно урахування впливу на навколишнє середовище при проектуванні і будівництві зводиться в основному к раціональному вибору траси з мінімальною шкодою для цінних земель; використання двохланцюгових опор; прокладанню кількох трас ПЛ у одному коридорі для обмеження територій, по котрим проходять ЛЕП, зменшенню площадок для розміщення опор і т.п.

Для ПЛ напругою до 330 кВ напруженість електричного поля на висоті 1,8 м від землі в границях санітарно-захисної зони не перевищує 1кВ/м, тому експлуатація ПЛ небезпечних наслідків для здоров'я населення не представляє.

Під ПЛ ПВН (ЛЕП 500 кВ і вище), де напруженість електричного поля перевищує 5кВ/м, приймаються міри, які виключають можливість впливу електричних розрядів на людину. Заходом, який виключає можливість попадання електричних зарядів на людину з металічних частин машин і механізмів, які знаходяться в охоронній зоні, є їх надійне заземлення.

ДОДАТОК В.
ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА

Позначення документа	Документ	Умовне позначення	Зміст зауваження

Дата _____