

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____	<u>О. КОЛЛАРОВ</u>
(підпис)	(ініціали, прізвище)
«___» _____	_____ 2024 р.

Кваліфікаційна робота
бакалавра

на тему Модернізація електромережі розподілу підприємства через
впровадження ФЕС в якості резерву живлення.

Виконав: студент 3 курсу, групи ГЕМп-21
(шифр групи)
спеціальності підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(шифр і назва спеціальності підготовки)
та електромеханіка»

_____	_____
Іван ШАТАЛОВ	
(ім'я та прізвище)	(підпис)
Керівник <u>ст. викл. каф., Е. НЄМЦЕВ</u>	_____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)	(підпис)

Рецензент _____	_____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)	(підпис)

Нормоконтроль:

_____	Е. НЄМЦЕВ
(підпис)	

(дата)

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

Студент(-ка) _____	_____
	(підпис)

(дата)

ЛУЦЬК – 2024 р.

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

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (О. КОЛЛАРОВ)

« » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Івану ШАТАЛОВУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Модернізація електромережі розподілу підприємства через впровадження ФЕС в якості резерву живлення.

керівник роботи Едуард НЕМЦЕВ, ст. викл.

(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 7 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Розподільна електромережа підприємства 10/0.4 (кВ), тип ТП «ТМ-100-10/0.4» характер навантаження підприємства – група електроприводів змінного струму; ДЖ розташоване від навантаження на $W_1 = 3.5$ (км). В частині ФЕС планується виконати прогнозування за допомогою ШНМ; необхідно забезпечити накопичення електроенергії; тип модулів обрати «LP210», для моделювання роботи ФЕС – географ. положення Львівської обл.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Аналіз побудови та дослідження топології сучасних електромереж розподілу на підприємстві. Методи автоматизованого керування параметрами мережі.

2. Проведення модернізації гілок електромережі для суміжної роботи із ФЕС.

3. Побудова та вибір основних елементів «розумної» мережі керування.

Налаштування системи збору та управління показниками енергосистеми.

4. Створення математичної моделі електромережі, що об'єднує: ФЕС, ділянку

передачі енергії та групи кінцевих навантажень підприємства.

5. Огляд методів захисту персоналу та обладнання в частині охорони праці.

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

Дванадцять слайдів презентаційного матеріалу

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 4.1-4.4	Е. НЄМЦЕВ, ст. викл. каф.		
Охорона праці	О. КОЛЛАРОВ, зав. каф., к.т.н		
Нормоконтроль	Е. НЄМЦЕВ, ст. викл. каф.		

7. Дата видачі завдання 29 квітня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	29.04–07.05.24	
2.	Розділ 2	08.05–19.05.24	
3.	Розділ 3	20.05–26.05.24	
4.	Розділ 4	27.05–07.06.24	
5.	Охорона праці	02.06–07.06.24	

Студент _____
(підпис)

Іван ШАТАЛОВ _____
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Едуард НЄМЦЕВ _____
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

ШАТАЛОВ І., «Модернізація електромережі розподілу підприємства через впровадження ФЕС в якості резерву живлення.» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – ДВНЗ ДонНТУ, м. Луцьк, 2024.

В роботі розглянуто можливі етапи при модернізації електромережі розподілу підприємства шляхом впровадження фотоелектричних систем (ФЕС) у якості резервного джерела енергії.

Проведено аналіз топології та методів керування сучасних електромереж, разом із тим і визначено методи автоматизованого керування параметрами мережі із АДЕ. Зосереджено увагу на модернізації гілок електромережі для спільної роботи із ФЕС, а також на виборі та побудові ключових елементів "розумної" системи керування.

Встановлено систему збору та управління показниками енергосистеми, яка була втілена у життя завдяки алгоритму написаною мовою Python. Шляхом побудови мат. моделі проєктованої електромережі, котра об'єднує ФЕС, ділянку трансформації і передачі енергії та групи кінцевих навантажень підприємства, були дослідженні перехідні процеси в системі.

Практичні результати досліджень дають можливість підтвердити ефективність від впровадження автоматизованої підсистеми збору параметрів у ФЕС та підвищення якості електропостачання даного підприємства.

Ключові слова: ІНТЕГРАЦІЯ ФЕС, РЕЗЕРВНЕ ЖИВЛЕННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ, ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ, ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГІЯ, УПРАВЛІННЯ ПОКАЗНИКАМИ ЕНЕРГОСИСТЕМИ, АНАЛІЗ ТОПОЛОГІЇ, НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ, ЕЛЕКТРОМЕРЕЖА РОЗПОДІЛУ, МОДЕЛЮВАННЯ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
1. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТА ЇХ ГОЛОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ У СУЧАСНІЙ ФЕС.	11
1.1 Аналіз конструктивних особливостей, підключення та роботи дослідних фотоелектричних модулів.	11
1.2 Особливості роботи ЕС та ФЕС.	17
2. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ТА ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ.	30
2.1 Розрахунок гілки навантаження у електромережі РГ.	30
2.2 Особливості визначення параметрів навантаження при наявних ЕД.	36
2.3 Визначення втрат енергії у навантажені та ЕМ пересилання.	40
2.4. Вибір типу трансформатору.	42
2.5 Визначення додаткових параметрів у ФЕС й вибір інвертору.	45
3. НАЛАШТУВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ У ЕМ РОЗПОДІЛУ.	47
3.1 Налаштування спільної роботи ФМ.	47
3.2 Налаштування роботи контролеру СЗ та алгоритму його функціонування.	50
3.3 Створення й налаштування системи із НЛ.	57
4. ПЕРЕВІРКА ОПТИМАЛЬНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ІЗ ФЕС ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ.	62
ВИСНОВКИ.	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.	76

ДОДАТОК А.	78
ДОДАТОК Б.	79
ДОДАТОК В.	88

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВТУ – вдосконалені технологічні установки;

ІК –індикатори (додаткові) якості;

ЛІМ лінійно-імпульсний модулятор;

ФЕ – фотоелектричні елементи;

Нв – навантаження;

ППП – планування інноваційних проєктів;

ЕД – електродвигун;

РНС – реально-часові норми споживання;

РМ – розподільні мережі;

ЕУ – електроустановка;

АВП – адаптивні вимикачі потужності;

ЕМ – електромережа;

ДКЕ – контрольні (динамічні) елементи;

КТН – контрольна технічна надійність.

ВСТУП

В контексті сучасних викликів енергетичного сектора та необхідності забезпечення стабільного та надійного живлення підприємств, модернізація електромереж розподілу через впровадження ФЕС у якості резервного джерела енергії виявляється важливим завданням. Дана дипломна робота присвячена вивченню цієї проблематики та розробці методів та алгоритмів для оптимізації енергозабезпечення підприємства.

Отже, метою роботи постає розробка й впровадження АСК (автоматизованої системи керування) ЕМ розподілу підприємства з використанням фотоелектричних систем як резервного джерела енергії.

Об'єктом дослідження є електромережа розподілу підприємства та можливості її модернізації за допомогою фотоелектричних систем.

В той же час, актуальність роботи постає в необхідності підвищення ефективності й надійності енергозабезпечення підприємств у сучасних умовах, а також у поступовому відході від використання традиційних ДЕ (джерел енергії) та переході до використання ВДЕ.

Основні етапи і завдання роботи передбачають:

- Аналіз топології та методів керування сучасних електромереж. Дослідження та оцінка сучасних методів керування електромережами для ідентифікації оптимальних підходів.
- Моделювання системи електропостачання підприємства. Розробка математичної моделі, яка відображатиме електромережу підприємства, включаючи фотоелектричні системи, трансформаторні підстанції та навантаження.
- Впровадження системи збору та управління показниками енергосистеми. Розробка та впровадження програмно-апаратної системи збору та аналізу параметрів енергозабезпечення.
- Аналіз та оцінка результатів та ефективності від впровадження системи

та висновки, щодо її впливу на якість електропостачання підприємства.

Проблеми, котрі потребують розгляду і вирішення для успішного проектування:

1. Технічні аспекти модернізації – виявлення оптимальних технічних рішень для впровадження ФЕС у систему електропостачання.
2. Оцінка технічної вигідності та повернення затрат у модернізацію електромережі з використанням ФЕС.

Вся територія України має потенціал для встановлення СЕС. Наша країна має вищі показники інсоляції та кількості сонячної енергії, яка досягає земної поверхні, ніж Німеччина, котра є провідною країною Євросоюзу з фотоелектрики.

Найбільш сприятливі для цього є південні регіони, зокрема Одеська, Херсонська, Миколаївська, Донецька, Запорізька області та Крим, де більше 65% ФЕС промислового типу [4].

За результатами на 2021 рік потужність сумарна ФЕС в Україні склала 6410 (МВт).

Сонячна енергетика дозволяє швидко будувати нові потужності для генерації. Наразі муніципалітети й громади із усіх регіонів України активно реалізують проекти із будівництва власних сонячних електростанцій. Це надає можливість автономного живлення електроенергією у випадку недоступності від централізованої мережі. Таким чином, зелена енергетика стає новою реальністю в енергетичному секторі.

Незважаючи на війну, сонячна енергетика та ФЕС продовжує зростати і розвиватися. У Харківській, Миколаївській та Херсонській областях відновлюють домашні й промислові й ФЕС.

Крім того, невеликі компанії також інвестує в сонячні електростанції. Підприємства використовуватимуть генеровану електроенергію для своїх потреб, і поки не продають її за зеленим тарифом для інших споживачів, а накопичують для власних потреб. Це також робить продукцію підприємств

конкурентоспроможною на європейських ринках, особливо із урахуванням очікуваного введення податку на вуглецевий слід у країнах ЄС.

Структура і обсяг випускної кваліфікаційної роботи.

Результати дипломної роботи представлені на 89 машинописних сторінках звіту, що має вступ, основні чотири розділи, загальні висновки. Робота містить перелік застосованої літератури, що має 8 джерел та три додатки, 48 рисунків та 7 таблиць.

1. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТА ЇХ ГОЛОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ У СУЧАСНІЙ ФЕС.

1.1 Аналіз конструктивних особливостей, підключення та роботи дослідних фотоелектричних модулів.

Показник кількості СП, котрі з'єднані у послідовно-паралельній конфігурації, обирається так, щоб напруга ($U_{\text{вих.СЕС}}$), що надходить на клеми АКБ, із урахуванням втрат напруги ($\Delta U_{\text{зр.АКБ}}$) в зарядному ланцюзі, була приблизно рівною $U_{\text{АКБ}}$ - напрузі АКБ, і щоб струм, що подається на навантаження, відповідав необхідному значенню заряду.

У випадку недостатнього сонячного світла акумулятор розряджається, передаючи електроенергію ел. приймачу, тобто батарея безперервно працює у режимі розряду та підзаряду. Для контролю цього процесу використовується спеціальний контролер. Під час циклічного заряду потрібна постійна напруга або струм заряду. З достатньою освітленістю акумулятор швидко заряджається до 85% своєї номінальної ємності, а потім повільніше досягає повної ємності. Перемикання на меншу швидкість заряду відбувається автоматично за допомогою контролера зарядного пристрою.

Коли сонячне проміння потрапляє на провідник, він нагрівається і поглинає частину енергії променів. Це призводить до вивільнення електронів всередині напівпровідника. Генероване електричне поле, у фотоелементі, направляє ці вивільнені електрони, змушуючи їх рухатися в певному напрямку. Цей рух електронів створює струм. Для кращого розуміння процесу вивільнення електронів, можна звернутися до кремнію (рис. 1.1). Завдяки розподілу електронів у кристалічній структурі кремнію, атоми "діляться" електронами з сусідніми атомами. Однак, кристал кремнію у чистому вигляді майже не провідний, оскільки більшість електронів мають міцні зв'язки у кристалічній решітці [5].

При попаданні сонячних променів на кремній (рис. 1.1), цей додатковий

електрон отримує досить енергії для від'єднання від атома, залишаючи на його місці «дірку». Утворені вільні електрони рухаються по кристалічній решітці, як носії електричного струму. Коли вони зустрічаються з «дірками», вони заповнюють їх.

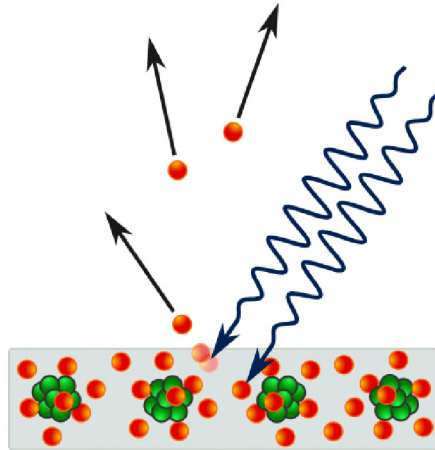


Рисунок 1.1– Пояснення процесу викидання фотоелектронів із поверхні пластини

У чистому кремнії кількість вільних електронів є дуже обмеженою через міцні зв'язки у кристалічній решітці. Однак, при легуванні кремнію атомами фосфору, для вивільнення додаткових електронів потрібно менше енергії, що дозволяє використовувати більшу кількість вільних електронів для генерації електричного струму. Легування, або додавання домішок, є важливим процесом для покращення хімічних і фізичних властивостей різних матеріалів.

Кремній, який легується атомами фосфору, перетворюється на електронний напівпровідник типу n. Також існує легування бором, який має три електрони у зовнішній оболонці.

Це спричинює утворення типу напівпровідника p, внаслідок чого виникають вільні дірки з позитивним зарядом. При з'єднанні n та p-типу напівпровідників перший має багато вивільнених електронів, а другий - багато «дірок». Це призводить до швидкого руху електронів для заповнення «дірок», але якщо це станеться, обидва напівпровідника стануть електрично нейтральними.

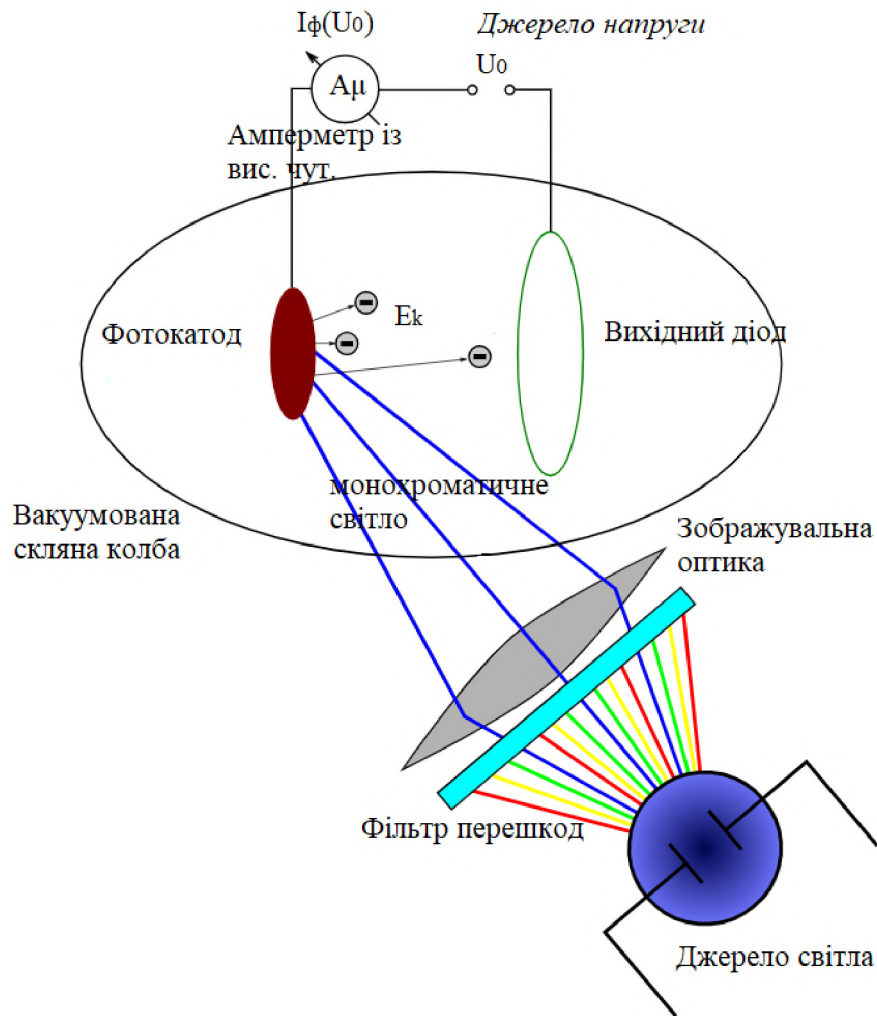


Рисунок 1.2 – Експериментальна апаратура для застосування методу зустрічного поля. Світло падає на катод фотоелемента, викликаючи вибивання електронів із металевої поверхні, які потім збираються анодом.

Кремній, як матеріал, має властивість ефективно відбивати світло, що може призводити до значних втрат енергії. Для зменшення цих втрат фотоелементи покривають антивідблисковим покриттям. Крім того, щоб захистити СП від впливу дощу, вітру та ін. мех. перешкод, на неї наносяться покриття зі скла.

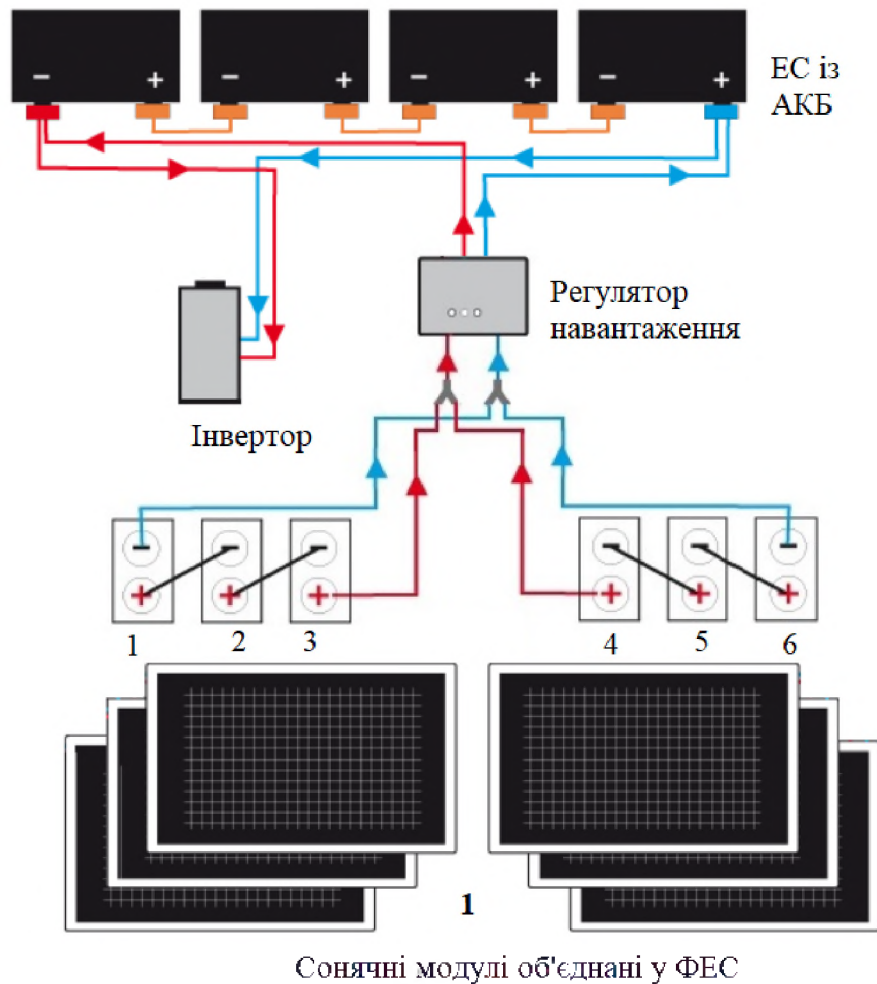


Рисунок 1.3 – Функціональна схема передачі енергії від СЕС до ЕМ

Склад ФП включає такі основні компоненти:

- I. Рамка алюмінієва ФП (рис. 1.4 - №1).
- II. Скло із наявним загартованим покриттям та характеристикою антивідблиску (рис. 1.4 - №2).
- III. Передня та задня ламінуюча плівка (рис. 1.4 - №3 та 5).
- IV. Елементи (комірки), котрі поєднані послідовно через плоскі провідники (рис. 1.4 - №4).
- V. Захисна задня плівка (рис. 1.4 - №6).
- VI. З'єднувальна розпаювальна коробка зі захисними діодами із з'єднувачами.

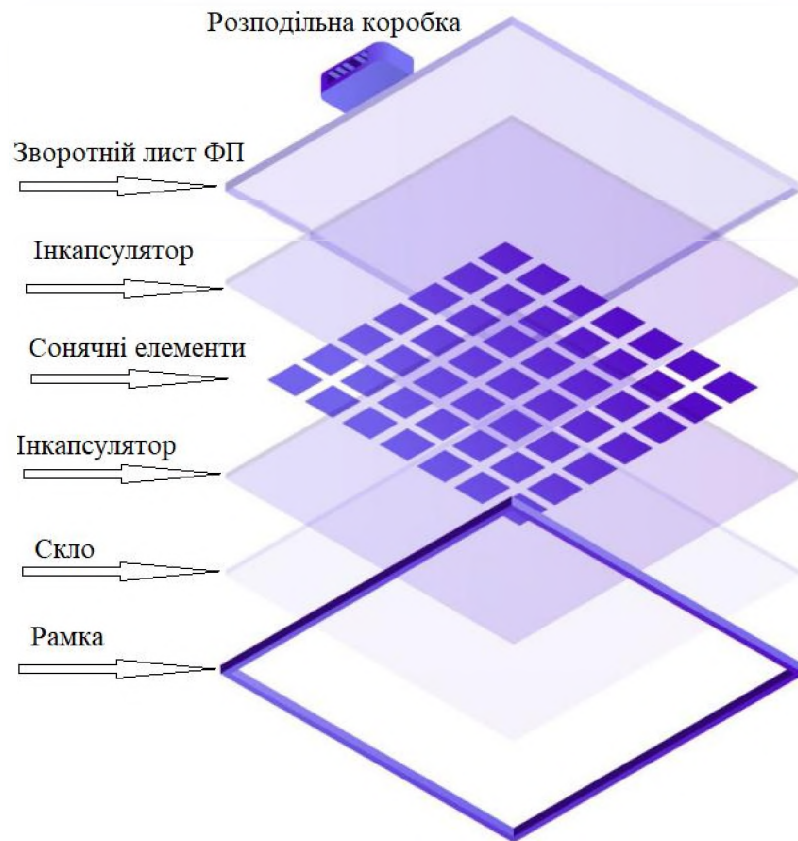


Рисунок 1.4 – Склад ФП

Ламінуючі плівки (ЛП) призначені для повної герметизації всіх компонентів, щоб уникнути заломлення світлових променів та запобігти втрати потужності через розсіювання. Герметичне ущільнення також допомагає захистити елементи від впливу навколишнього середовища й корозії.. Зменшення потужності панелі з часом залежить від якості ЛП, оскільки її стан може погіршуватися під впливом ультрафіолету. Такі зміни у прозорості призводять до зменшення кількості світла, що потрапляє до сонячних елементів і, відповідно, до зменшення потужності панелі. Якість плівки важко перевірити, тому виробникам потрібно довіряти.

Кількість сонячних елементів у модулі визначається його номінальною напругою. Кожен елемент є кремнієвим фото-діодом, що має $U_{(MPP)}$ близько до 0.5 (В). До прикладу, ФП модуль типовий із $U_{ном.ФП}$ 12(В) та складається із $n=132$ елементів. Під час послідовного з'єднання 44 (ел.) $U_{комр}=0.5$ (В) кожен, виходить приблизно у 18-19 (В) у точці P_{max} . Така напруга відповідає заряду оптимальному

АКБ із $U_{AK}=12$ (В) акумулятора, котрий для повноцінної зарядки має досягати 14.4-15.3 (В) у залежності від типу. Однак потрібно також враховувати деякий запас на втрати у проводах, а також нагрівання модуля.

Таблиця 1.1 – Характеристика ФМ типу LP210

Максимальна потужність	650 (Вт)	Струм КЗ у модулі	18.16 (А)
Напруга відкритого ланцюга	45.58 (В)	ККД фотомодуля	20.92 (%)
Максимальна напруга системи	37.61 (В)	Кількість елементів	132 шт.

ФЕС складається із одного чи декількох СП, котрі з'єднані паралельним чином, контролера розряду/ заряду акумулятора, декількох акумуляторних батарей й інвертора. Поширені ЕС у 24 (В) системи здійснюють одночасне перетворення ПС в 220(В) ЗС. На рис. 1.3 приведено схему принципову СП, котра ілюструє поєднання осередків й можливість розширення системи для задоволення вимог до $P_{спж}$.

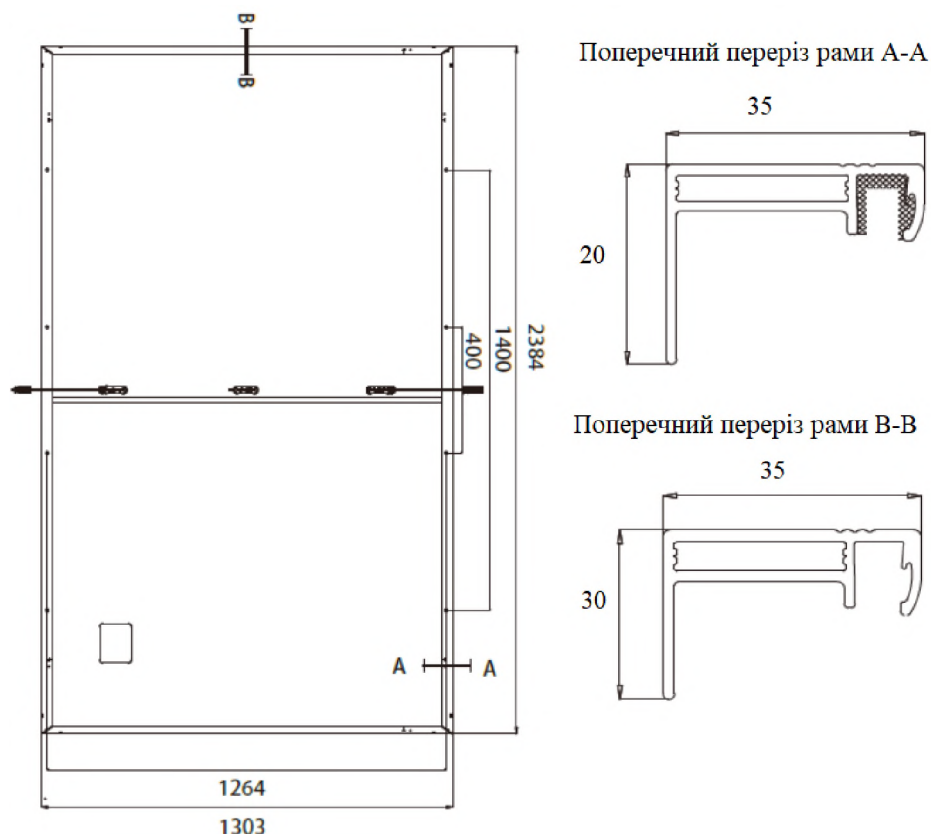


Рисунок 1.5 – Габаритні розміри дослідної ФП

1.2 Особливості роботи ЕС та ФЕС.

При стандартних (або нормальних) режимах роботи ЕМ відбувається зміна реактивної й активної потужності, частоти і напруги повільно і контролюється підсистемами із управління. Аварійні ситуації, навпаки, характеризуються швидкими змінами електричних параметрів, котрі вимагають і оперативного реагування, а також запобігання подальшому розвитку проблем. Для цього використовуються спеціальні швидкодіючі засоби, які автоматично реагують на виникнення аварій, забезпечуючи не лише їх відключення, а й ефективне управління системою при стрімких змінах навантаження.

Для контролю та захисту від аварійних ситуацій й випадків використовується протиаварійна система автоматики, котра включає такі пристрої, як реле захисту, АРЗ для СМ, автоматичне підключення (АП) резервного живлення, розвантаження автоматичне при зниженні частоти, АПВ, автоматична синхронізація Гн (генераторів), та інші.

Для забезпечення надійності електропостачання особливо важливими є АПВ та АП резервного живлення. АПВ діє наступним чином: після виникнення короткого замикання та автоматичного відключення лінії, через певний час система автоматично відновлює роботу лінії за допомогою команди АПВ. У разі короткочасного порушення режиму електропостачання цей процес також відновлює роботу. Лінії із двостороннім живленням включаються лише у відсутності напруги. Коли напруги з обох боків лінії несинхронні, відбувається синхронізація перед включенням.

У випадку, коли паралельно підключені елементи системи (трансформатори, ЛП) працюють окремо через зменшення I_{K3} , використовується АП для резервного живлення. Цей механізм активується при відсутності $U_{д.ЕМ}$, коли після певного періоду резервне ДЖ (джерело живлення) підключається автоматично до відключеної системи, забезпечуючи живлення відновленням електропостачання для споживачів відключених. АП резервного живлення часто використовується для промислових підприємств й міських ЕМ.

Якщо ФЕС (через різне опромінювання) вводять перетворену енергію сонячну у локальну мережу у одній фазі, це може спричинити проблеми. Зокрема, якщо щільність системи висока і окремі пристрої розподілені нерівномірно по різних фазах мережі, можуть виникнути асиметрії за напругою.

З іншого боку, трифазні інвертори завжди рівномірно розподіляють електроенергію поміж усіма трьома фазами, що забезпечує дуже симетричний розподіл. Якщо через різницю сонячного випромінювання на окремих СМ відбуваються піки або падіння навантаження, вони відповідно регулюються та збалансовуються.

Проте використання однофазних конструкцій може спричинити зриви у трьох фазах, що, як правило, призводить до поломки електроприладів у домашньому використанні. Хоча можливо використовувати однофазні інвертори із симетричним з'єднанням, проте вони не ефективніші в порівнянні з 3-фазними інверторами через обмежені можливості використання матеріалів.

Рівень якості елементів у СП розподіляється на три категорії:

- Тип А – після проходження прискореного тесту старіння СП (при PID test у моделі) потужність елементів знижується лише на 5-7%. Це означає, що елементи під цим рівнем продуктивності зберігають понад 95-97% своєї номінальної потужності.

- Тип В – опісля прискореного тесту старіння ФМ (PID test) потужність елементів знижується на 35%. Тобто, елементи, які відповідають цьому рівню якості, продовжують видаляти понад 60% своєї номінальної потужності.

- Тип С – пізніше проходження прискореного тесту старіння СП (при PID test у моделі) потужність елементів знижується більше, ніж на 35%. Вони починають видаляти менше, ніж 60% своєї номінальної потужності.

Важливою характеристикою є результати тесту старіння, оскільки вони вказують на здатність елементів зберігати ефективність з часом. Ці результати визначаються наявністю або відсутністю втрат потужності після прискореного тесту старіння.

Потужність та продуктивність ФЕ систем і накопичувачів електроенергії є ключовими факторами у визначенні їх ефективності. Отже, інформація у кВт не відображає кількість енергії, яка є потрібною, але показує, скільки енергії вони можуть створити. До прикладу, якщо накопичувач енергії має потужність 40 (кВт), це вказує на те, яка кількість енергії може бути виділена або збережена в ньому одночасно. Такий же принцип стосується й ФМ.

Поняття пікової кількості кіловат ($\text{kW}_{\text{т(пк)}}$) визначається як максимальна (чи номінальна) потужність ФЕ системи. Це показник максимальної потужності, яку СЕС може виробляти за оптимальних умов. Проте варто пам'ятати, що оптимальні умови часто бувають рідкісні під час реальних умовах експлуатації.

Фактичний обсяг виробництва електроенергії ФЕ системою є змінним і залежить від численних факторів, таких сонячна інсоляція, температура, затінення, нахил поверхні, орієнтація ФМ. Наразі ФМ часто включають оптимізатори потужності, котрі підвищують їхню ефективність.

Для визначення $S_{\text{ном. (ФЕС)}}$ або бажаної величини потужності треба мати певний запас - як правило розраховують, що рівень інсоляції в середньому буде досягати 60-70% .

ФМ, який піддається однорідному рівню інсоляції G_{const} , а, отже, має однакову температуру T_{const} , на всій своїй поверхні, демонструє характеристику вихідної напруги з одним піком. Однак модулі в одній гілці можуть бути піддані різному випромінюванню G_{var} , що призводить до змін у формі вихідних характеристик із одного піку до численних піків на кривій вихідної потужності. Фізика функціонування ФЕС перетворення енергії може бути використана для передбачення кількості піків та ідентифікації, який із даних піків буде максимальним [5].

Якщо ряд ФМ складається з n послідовно з'єднаних модулів, за (1.1) існує f_m можливих варіантів відносного упорядкування для опромінення $G_{\text{д.і}}$, які можуть існувати,

$$f_{\mathcal{M}} = 2^{(n-1)} \quad (1.1)$$

де: $i \in [1:n]$

Кожен такий випадок матиме певні умови, в залежності від яких певний пік буде максимальним. Без втрати загальності, значення опромінення можна класифікувати у порядку спадання, як:

$$G_1 \geq G_2 \geq G_3 \geq G_4 \dots \geq G_{\partial,n} \quad (1.2)$$

Кожен модуль має ВАХ із напругою в режимі ХХ $V_{x,x(n)}$ і струмом КЗ – $I_{K3(n)}$. Тоді $V_{x,x(n)}$ майже не змінюється через свою логарифмічну залежність від опромінення, проте показник $I_{K3(n)}$ є пропорційним до $G_{\partial,n}$. Проблема із глобальною точкою максимуму на характеристиці потужності (ГТМХП) полягає в тому, щоб визначити, наскільки близька напруга $V_{(max.TM)}$ ряду до $V_{x,x(n)}$, де відповідно $i \in [1:n]$, а n тут постає загальною кількістю модулів у ряду. Прогнозування на характеристиці ГТМХП при певній інсоляції, яка надходить на панелі, пов'язане із виразом:

$$k_{\partial,i} = \frac{G_{\partial,i}}{G_{\partial,i} - 1} \quad (1.3)$$

Для подальшого пояснення, розглянемо двомодульний ФЕ рядок, для якого необхідно ідентифікувати точку ГТМХП. Якщо обидва модулі піддаються однаковому опромінюванню, то існує лише один пік. Проте, якщо один модуль піддається більшому опромінюванню, ніж інший, пік розпадається на два. Опромінення модуля представлене через відношення затінення до більш високого опромінювання модуля, тобто:

$$G_{\partial.2} = G_{\partial.1} \cdot k_2 \quad (1.5)$$

де: $k_2 < 1$ - частка затінення другого ФЕМ в порівнянні із ФЕМ №1.

Якщо значення $k_2 > 0,5$, то це виявляється у вихідних характеристиках ряду, де пік біля умови КЗ (вище), що становить приблизно половину розриву $U_{\text{лан}}$ ФЕМ. Однак, якщо $k_2 < 0,5$, тоді пік біля напруги розімкненого ланцюга буде вищий, що представлено на рис. 1.7. Для усіх можливих випадків інсоляції для двох ФЕМ наведені у табл. 1.1

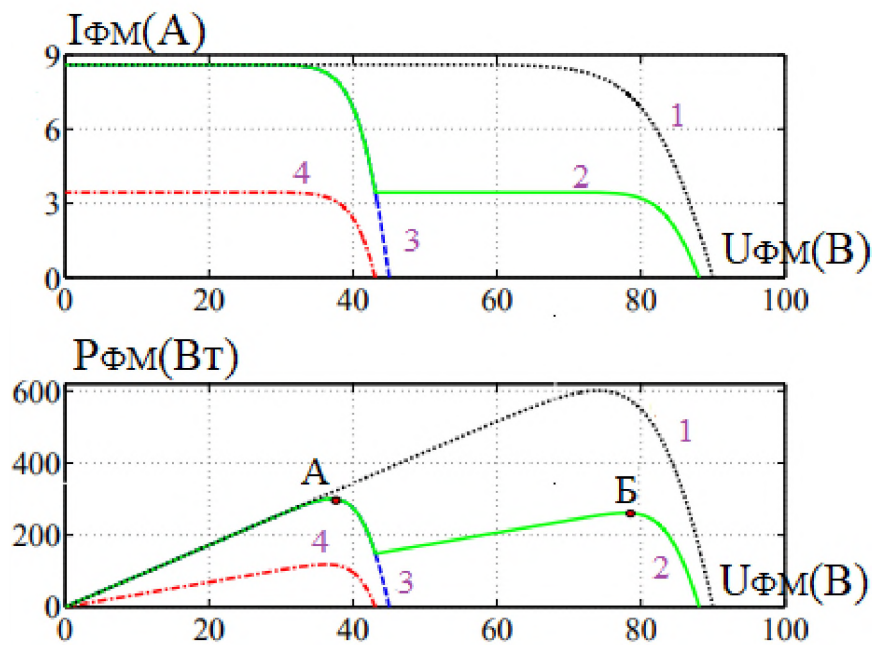


Рисунок 1.7 – Основні характеристики двох ФЕМ

Таблиця 1.2 – Випадки для знаходження точки ГТМХП

Випадок	Відношення опромінення	Піковий випадок	Const	Змінна	Підвипадки	ГТМХП
1	$G_{\partial.1} > G_{\partial.2}$	2	—	k_2, k_3	(1) $k_2 < 0.5$	А
					(2) $k_2 \geq 0.5$	Б
2	$G_{\partial.1} = G_{\partial.2}$	1	$k_2 = 1$	—	—	А

На аналогічних лініях ФЕС, для трьох модулів ФЕМ ряду, можна оцінити

глобальний максимум прогнозу. Кількість випадків тут зростає у відповідності із (1.1) до 4:

$$\begin{aligned} f_{M(2)} &= 2^{(2-1)} = 2; \quad f_{M(3)} = 2^{(3-1)} = 4; \\ f_{M(4)} &= 2^{(4-1)} = 8; \quad f_{M(5)} = 2^{(5-1)} = 16; \end{aligned} \quad (1.6)$$

Із різними підвипадками, як показано в табл. 1.3 , де частки затінення визначені як:

$$k_{\partial.2} = \frac{G_{\partial.2}}{G_{\partial.1}}; \quad k_{\partial.3} = \frac{G_{\partial.3}}{G_{\partial.2}} \quad (1.7)$$

Таблиця 1.3 – Випадки для знаходження точки ГТМХП у 3-х ФЕМ

Випадок	Відношення інсоляції	Пік. випадок	Const	Змінна	Підвипадки	ГТМХП
1	$G_{\partial.1} > G_{\partial.2};$ $G_{\partial.2} > G_{\partial.3}$	3	—	k_2, k_3	(1) $k_2 < 0.5$	А
					(2) $k_2 \geq 0.5;$ $k_2 < 2/3$	Б
					(3) $k_2 \geq 0.5;$ $k_2 \geq 2/3$	В
2	$G_{\partial.1} = G_{\partial.2};$ $G_{\partial.2} > G_{\partial.3}$	2	$k_2 = 1$	k_3	(1) $k_3 < 2/3$	А
					(2) $k_3 \geq 2/3$	Б
3	$G_{\partial.1} > G_{\partial.2};$ $G_{\partial.2} = G_{\partial.3}$	2	$k_3 = 1$	k_2	(1) $k_2 < 1/3$	А
					(2) $k_2 \geq 1/3$	Б
4	$G_{\partial.1} = G_{\partial.2};$ $G_{\partial.2} = G_{\partial.3}$	1	$k_2 = k_3 = 1$	—	—	А

Таблиця 1.4 – Випадки для знаходження точки ГТМХП у 3-х ФЕМ

№	Відношення інсоляції	Пік. випадок	Const	Var	Підвипадки	ГТ МХП
1	$G_{\partial.1} > G_{\partial.2};$ $G_{\partial.2} > G_{\partial.3};$ $G_{\partial.3} > G_{\partial.4}$	4	–	$k_2, k_3,$ k_4	$k_2 < 0.5$	А
					$k_2 \geq 0.5; k_3 < 2/3$	Б
					$k_2 \geq 0.5; k_2 \geq 2/3$ $k_4 < 0.75$	В
					$k_2 \geq 0.5; k_2 \geq 2/3$ $k_4 \geq 0.75$	Г
2	$G_{\partial.1} = G_{\partial.2};$ $G_{\partial.2} > G_{\partial.3} > G_{\partial.4}$	3	$k_2 = 1$	k_3, k_4	$k_3 < 0.6$	А
					$k_3 \geq 0.6; k_4 < 0.75$	Б
					$k_3 \geq 0.6;$ $k_4 \geq 0.75$	В
3	$G_{\partial.1} > G_{\partial.2};$ $G_{\partial.2} = G_{\partial.3}$	3	$k_3 = 1$	k_2, k_4	$k_2 < 1/3$	А
					$k_2 \geq 1/3; k_4 < 3/4$	Б
					$k_2 \geq 1/3; k_4 \geq 3/4$	В
4	$G_{\partial.1} > G_{\partial.2} > G_{\partial.3};$ $G_{\partial.3} = G_{\partial.4}$	3	$k_4 = 1$	k_2, k_3	$k_2 < 0.5$	А
					$k_2 \geq 0.5; k_3 < 0.5$	Б
					$k_2 \geq 0.5; k_3 \geq 0.5$	В
5	$G_{\partial.1} = G_{\partial.2} = G_{\partial.3};$ $G_{\partial.3} > G_{\partial.4}$	2	$k_{(2,3)} = 1$	k_4	$k_4 < 2/3$	А
					$k_4 \geq 2/3$	Б
6	$G_{\partial.1} > G_{\partial.2};$ $G_{\partial.2} = G_{\partial.3} > G_{\partial.4}$	2	$k_{(3,4)} = 1$	k_2	$k_2 < 0.25$	А
					$k_2 \geq 0.25$	Б
7	$G_{\partial.1} = G_{\partial.2} > G_{\partial.3};$ $G_{\partial.3} = G_{\partial.4}$	2	$k_{(2,4)} = 1$	k_3	$k_2 < 0.5$	А
					$k_2 \geq 0.5$	Б
8	$G_{\partial.1} = G_{\partial.2} = G_{\partial.3};$ $G_{\partial.3} = G_{\partial.4}$	1	$k_{(2,3,4)} = 1$	–	–	А

Чотири модульні ФЕМ рядки можуть мати у відповідності до (1.4) вже 8 випадків. Оскільки кількість ФЕМ зростає в ряду, кількість випадків і підвипадків зростає експоненціально. Побудуємо дані випадки у табл. 1.3, бо тут є принципова відмінність від 3-х ФЕМ

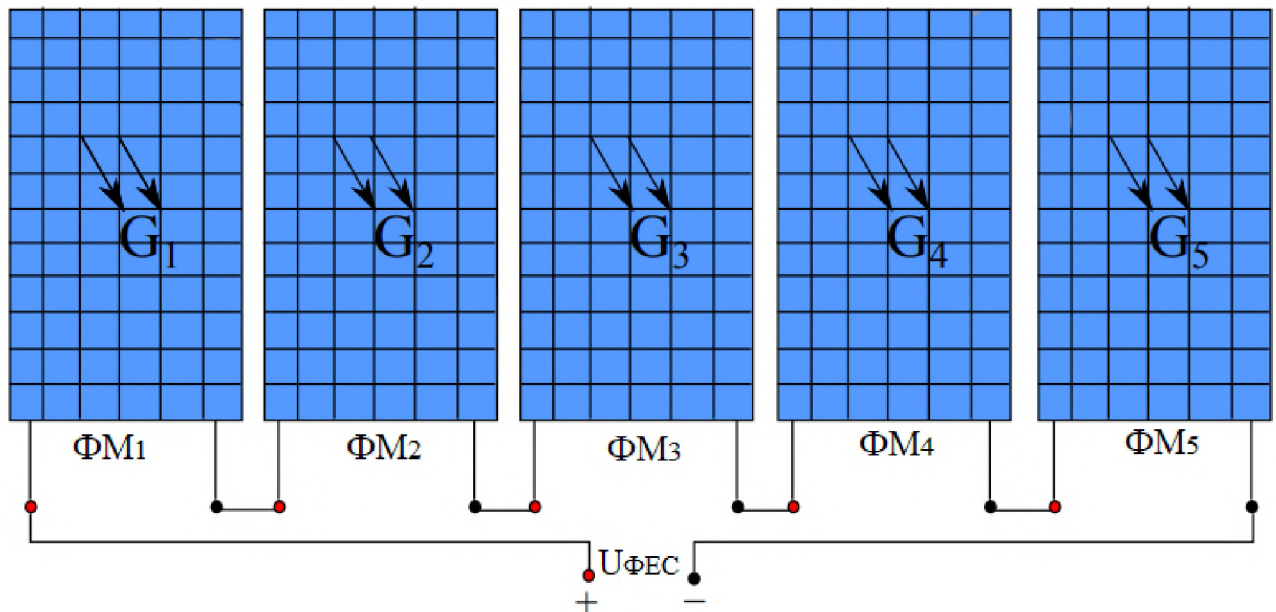


Рисунок 1.8 – Поєднання п'яти ФМ

Надалі можна розглянути приклад ряду ФЕМ з 5-ма модулями, де всі панелі відображають різне опромінювання. Це зображено на рис. 1.8, де показано графік затінення, котре призводить до нерівномірного опромінювання усіх п'яти панелей. Результат для даного випадку зображено на рис. 1.8. Затінення для даного випадку відображені через вирази:

$$G_{\partial.2} = k_{\partial.2} \cdot G_{\partial.1}; \quad G_{\partial.3} = k_{\partial.3} \cdot G_{\partial.2};$$

(1.8)

$$G_{\partial.4} = k_{\partial.4} \cdot G_{\partial.3}; \quad G_{\partial.5} = k_{\partial.5} \cdot G_{\partial.4};$$

Тоді їх можна класифікувати у порядку спадання як:

$$G_{\partial.1} > G_{\partial.2} > G_{\partial.3} > G_{\partial.4} > G_{\partial.5};$$

(1.9)

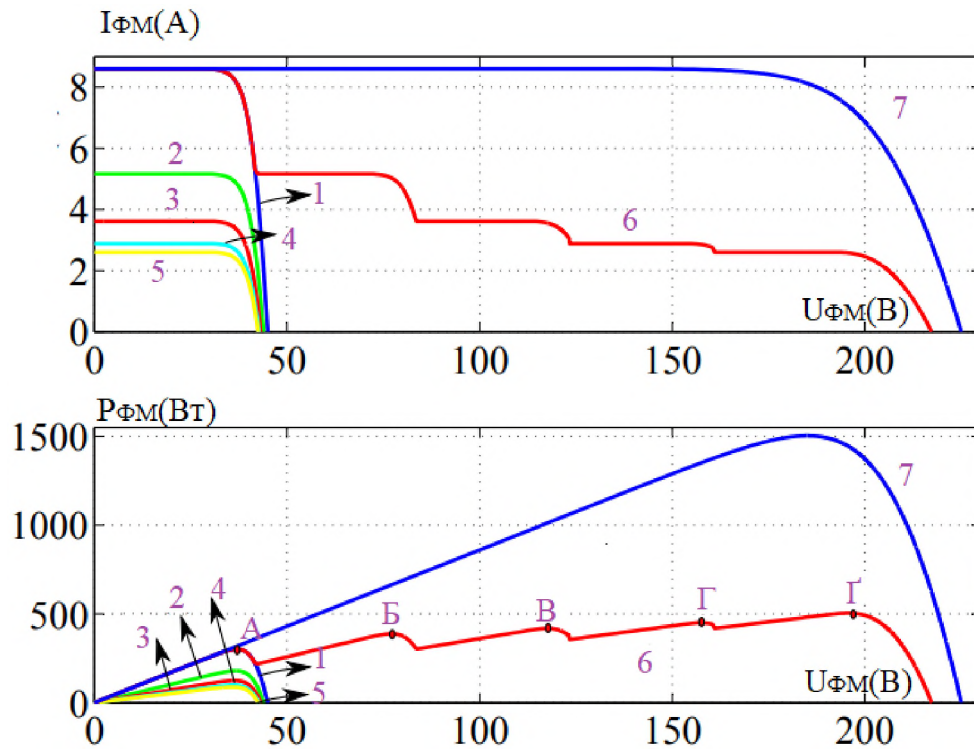


Рисунок 1.9 – Основні характеристики п'яти ФЕМ

Ідентифікацію глобального максимуму можна виконати за допомогою блок-схеми, наведеної на рис. 1.9, з піками потужності, позначеними як А-Г, де А є піком, найближчим до I_{K3} ланцюга, а Г - піком, найближчим до $U_{x.x.}$ ланцюга. Загалом кількість літер на характеристиці залежить від кількості ФМ у ряду, для 5 модулів може бути і до 5 або піків. Глобальна точка S_{max} визначається за допомогою порівняння серед виразів:

$$k_{\partial.2} > 0.5 \rightarrow B > A; \quad k_{\partial.3} > \frac{2}{3} \rightarrow B > B; \quad (1.8)$$

$$k_{\partial.4} > 0.75 \rightarrow \Gamma > B; \quad k_{\partial.5} > 0.8 \rightarrow \Gamma > \Gamma;$$

отже, пік у точці Г є глобальним МП.

Отже, схема-алгоритм для визначення ГТМП для ланцюга із 5 ФЕМ, де всі СП з'єднані послідовно і отримують різну кількість сонячної інсоляції наведена на рис. 1.10.

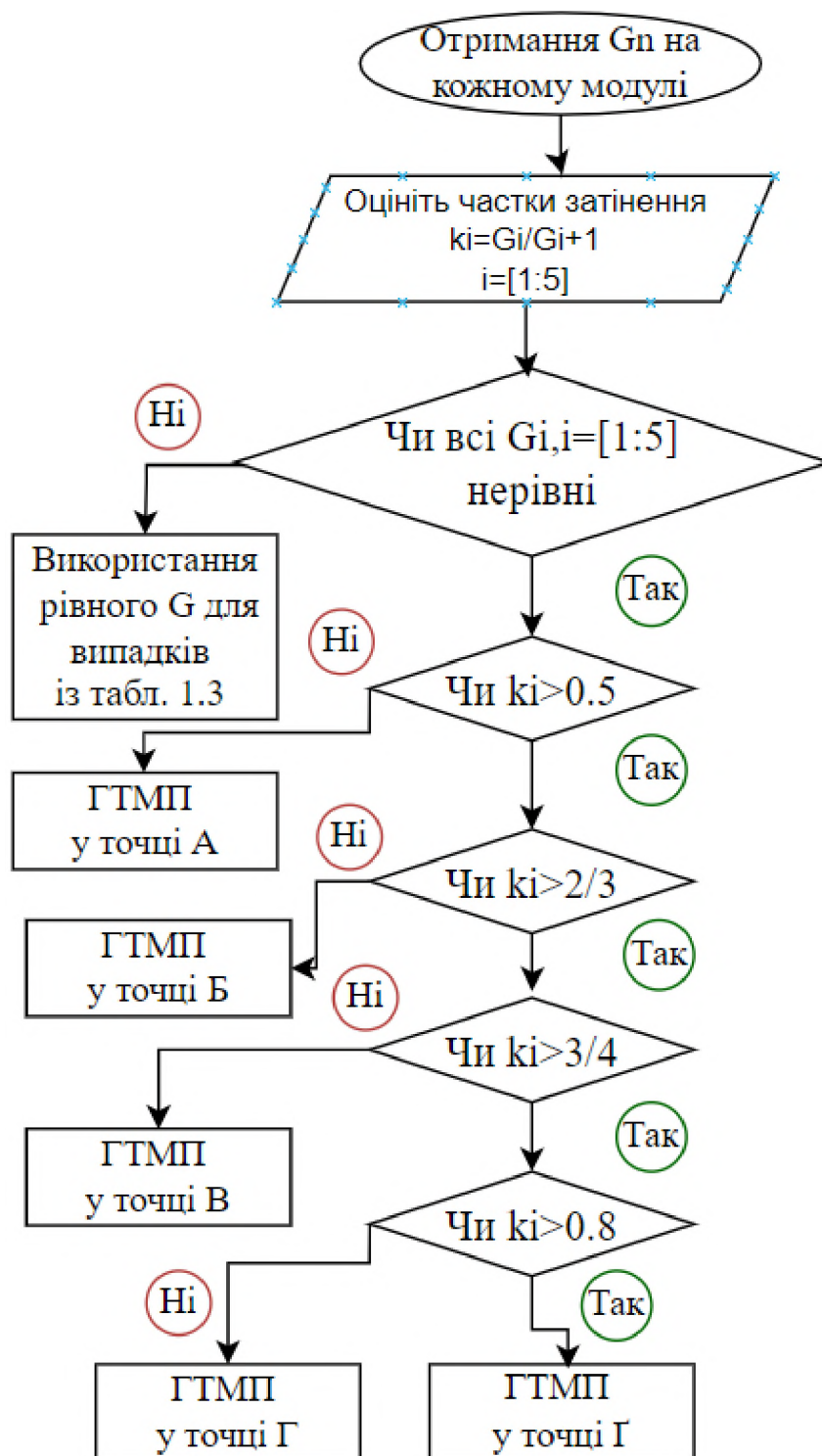


Рисунок 1.10 – Алгоритм пошуку ГТМП на характеристиці потужності у гілці із п'яти ФЕМ

Якщо умови рівномірного опромінювання ФЕМ як припущення в останньому розділі недійсні, тобто якщо модуль сам зазнає часткового затінення, то в залежності від кількості обхідних діодів (ОД) у модулі на його виході може

бути стільки, скільки піків. ОД активуються, коли галузь отримує менше опромінення порівняно із сусіднім ланцюгом.

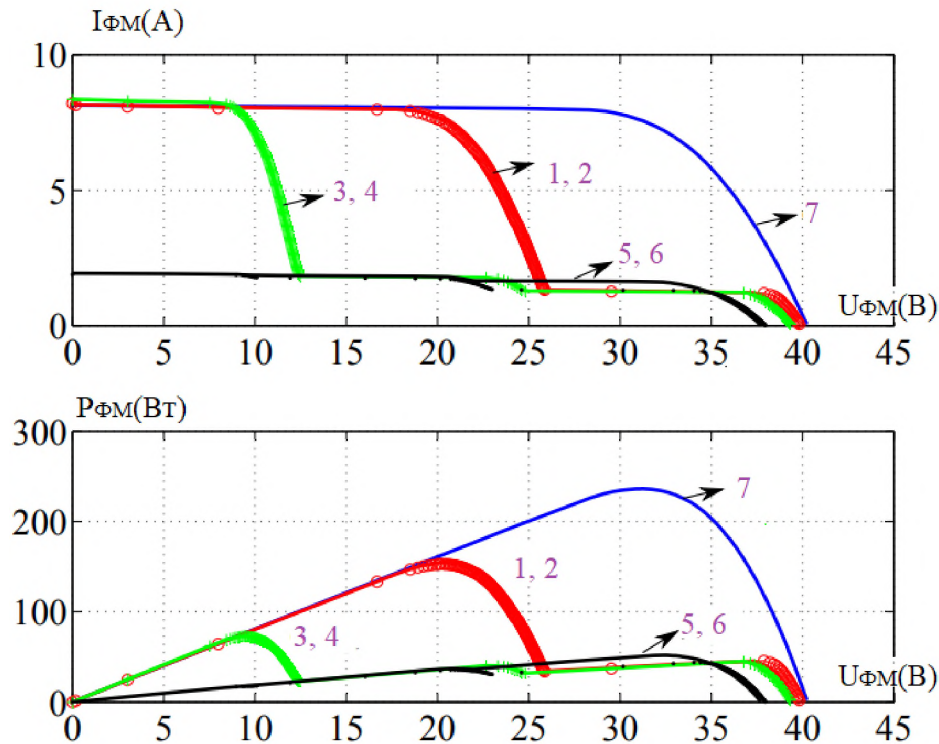


Рисунок 1.11 – Основні характеристики шести і більше ФЕМ

Це явище можна підтвердити експериментально користуючись [4-6] процес відображений на рис. 1.11, де кожен стовпець у фотоелектричному модулі затінений і вихід фіксується за допомогою приладу UNI-T, показуючи як три піки в одному тестованому ФЕМ. У таких випадках, той самий метод прогнозування глобального піку є дійсним, якщо кожна гілка розглядається як окремий ФЕМ.

На основі проведеного аналізу робляться наступні спостереження у роботі ФМ:

- 1) Амперна характеристика може мати не більше n числа піків для n -модульної фотоелектричної ланцюга.
- 2) Це може призвести до $(2*n-1)$ можливих співвідношень відносної опроміненості, які в цьому аналізі називаються випадками.
- 3) Кожен випадок може мати декілька часних випадків, що дорівнює

кількості нерівних значень опромінення в цьому підвипадку.

4) Потрібно прийняти щонайбільше n рішень щодо коефіцієнтів затінення, щоб визначити розташування ГТМХП.

5) Порогові значення підвипадків можна попередньо обчислити в автономному режимі, що економить час і підвищує ефективність глобального максимум.

2. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ТА ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ.

2.1 Розрахунок гілки навантаження у електромережі РГ.

Проектування розподільчої (РП) електромережі 0.4 (кВ) базується на територіальному розташуванні споживачів електроенергії цього рівня. Оптимальне місце для підстанцій визначається так званим ЦЕН – центром ел. навантажень. Схеми електричних мереж мають бути простими, економічними та відповідати вимогам надійності електропостачання для споживачів підприємства.

ПЛ 0,4 кВ трифазного змінного струму з глухим заземленням нейтралі проектується із використанням проводів ізолюваних самонесучих. При проектуванні враховуються нормативний термін служби ПЛ, розрахунковий період масових відмов та кількісна оцінка надійності згідно з ДСТУ.

Якщо на опорах ЛП 0,4 (кВ) також встановлені лінії провідного пересилання, необхідно дотримуватись правил ПУЕ. Вибір проводів, самонесучих, ізолюваних (СІП) перевіряється на відповідність допустимим $I_{\text{трив.нав.}}$ при умовах нормальної, а також і після аварійної роботи, допустимі відхилення $\Delta U_{\text{нв}}$ напруги у споживачів (гр. навантаження), термічну стійкість при $I_{\text{КЗ}}$, та забезпечення надійного спрацювання захисних пристроїв при 1-фазних та між фазних КЗ і перевантаженнях. Також враховується можливість запуску АЕП із к. з. ротором.

Довжина ПЛ 0,4 кВ повинна забезпечувати допустимі втрати напруги для якісного постачання електроенергії споживачам [3].

Отже, метою розрахунку навантажень електричних є визначення необхідної потужності для кожного компонента ЕМ. На основі цих розрахунків встановлюються $S_{\text{ел.ем}}$ потужності у окремих елементів (або гілках) ЕМ.

Розрахунок навантажень у мережах 0.4 (кВ) здійснюється шляхом підсумування навантажень на вході цеху, із врахуванням коефіцієнтів одночасності навантажень максимальних.

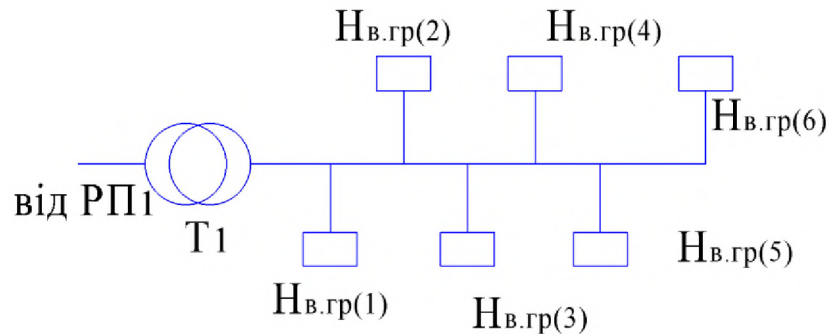


Рисунок 2.1 – Група навантаження у РП

Приклади розрахунків будуть виконані на основі ТП-1, причому аналогічні підходи застосовуються і до інших розрахунків. Дані про навантаження ПС наведені в табл. 2.1. Надалі розглянемо розрахунок електричного навантаження для ЛП₁, де визначимо навантаження розрахункового:

$$U_{(k).\partial.\Phi\P} = S_{(ЛП_1)} = \left(\sum_{j=1}^m S_j \right) k_{од} \quad (2.1)$$

де: S_j – показник навантаження розрахункова на одну групу АЕП (навантаження).

$k_{од}$ – показник одночасності.

m – кількість груп ЕАП.

$$S_j = \sqrt{Q_j^2 + P_j^2} \quad (2.2)$$

Таблиця 2.1 – Навантаження розрахункове на ЛП у ТП₁

Розрахункове навантаження ЕП	$S_{\text{нв.гр}} \text{ (кВА)}$
Ланцюг із навантаження АД №1	17.52 (кВА)
Ланцюг із навантаження АД №2	23.36 (кВА)
Ланцюг із навантаження АД №3	19.21 (кВА)
Ланцюг із навантаження АД №4	24.12 (кВА)
Ланцюг із навантаження АД №5	21.76 (кВА)
Ланцюг із навантаження АД №6	26.08 (кВА)

Тоді $S_{\text{повн.РП1}}$ на введенні РП 0.4 кВ у ПС $S_{\text{р.(n)}}$, у [кВА] визначається за виразом:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{ТП}_1} &= S_{\text{зр(1).АЕП}} + S_{\text{зр(2).АЕП}} + S_{\text{зр(3).АЕП}} + S_{\text{зр(4).АЕП}} + S_{\text{зр(5).АЕП}} + \\
 &+ S_{\text{зр(6).АЕП}} = 17.52 + 23.36 + 19.21 + 24.12 + 21.76 + 26.08 = 132.05 \text{ (кВА)}
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

Підбираємо переріз й тип кабелів від РП 0.4 (кВ) у ПС до ввідно-розподільчого пристрою навантаження. Перевірка й визначення перерізу у проводах $U_{\text{см}}$ до 1 (кВ) здійснюється на основі струмового тривалого навантаження й допустимих втрат $\Delta U_{\text{ЛП}}$. Надалі проведемо розгляд й перевірку ЛП₁ на ТП₁.

$$I_{\text{ном.зр(n)}} = \frac{\sqrt{Q_j^2 + P_j^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.зр}}}
 \tag{2.4}$$

Відповідно для, щоб розрахувати $I_{\text{ном.зр}}$ для кожної групи, варто скористатись:

$$I_{ном.зр(1)} = \frac{\sqrt{4.53^2 + 16.58^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.4} = 26.89 \text{ (A)};$$

$$I_{ном.зр(2)} = \frac{\sqrt{7.18^2 + 21.14^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.4} = 32.23 \text{ (A)};$$

$$I_{ном.зр(3)} = \frac{\sqrt{5.27^2 + 18.46^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.4} = 27.71 \text{ (A)};$$

(2.5)

$$I_{ном.зр(4)} = \frac{\sqrt{8.29^2 + 22.02^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.4} = 33.96 \text{ (A)};$$

$$I_{ном.зр(5)} = \frac{\sqrt{6.03^2 + 19.07^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.4} = 28.76 \text{ (A)};$$

$$I_{ном.зр(6)} = \frac{\sqrt{8.79^2 + 24.31^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.4} \approx 37 \text{ (A)}$$

Згідно (2.5) $I_{макс.ЛП}$ дорівнює 39 (А), згідно цих умов можемо обрати тип кабелю СП 4*16, із перетином у 16 мм та $I_{доп}=70(A)$ [6].



Рисунок 2.2 – Кабель типу СП 4*16

Також перевіряємо обраний тип кабелю за показником допустимої втрати напруги. Для цього треба скористатись умовою для перевірки, котра є $\Delta U_{пер}$ – втрата напруги під час пересилання електрики у ЛП в лінії становить не більше 3–5 %, тобто $\Delta U_{пер} \leq 3-5 \%$.

Відповідно розрахувати $\Delta U_{\text{пер}}$ втрату напруги ЛПІ по гілках у %, можна через характер навантаження та його показник:

$$\Delta U_{\text{пер}(n)} = \frac{Q_j^2 \cdot X_{j.0} + P_j^2 \cdot R_{j.0}}{U_{\text{ном.зр}}^2} \quad (2.6)$$

де: $X_{j.0}$ – величина опору (реактивний) КЛ, (Ом)

$R_{j.0}$ – величина опору (активний) КЛ, (Ом)

За величинами питомих опорів (реактивних – x_n і активних – r_n) можна знайти показники $X_{j.0}$ та $R_{j.0}$ із (2.6)

$$X_{j.0} = W_{L(n)} \cdot x_n \quad (2.7)$$

$$R_{j.0} = W_{L(n)} \cdot r_n$$

Із об'єднання (2.6) та (2.7) можна отримати:

$$\Delta U = \frac{Q_j^2 \cdot W_{L(n)} \cdot x_n + P_j^2 \cdot W_{L(n)} \cdot r_n}{U_{\text{ном.зр}}^2} \quad (2.8)$$

Відповідно для n-гілки:

$$\Delta U_{z.n} = \frac{W_{L(n)} \cdot (Q_j^2 \cdot x_n + P_j^2 \cdot r_n)}{U_{\text{ном.зр}}^2} \quad (2.9)$$

Тоді для кожної гілки:

$$\begin{aligned}
\Delta U_{z.1} &= \frac{0.03 \cdot (4.53 \cdot 0.072 + 16.58 \cdot 0.431)}{0.4^2 \cdot 10} = 0.14 \text{ (\%)} \\
\Delta U_{z.2} &= \frac{0.03 \cdot (7.18 \cdot 0.072 + 21.14 \cdot 0.431)}{0.4^2 \cdot 10} = 0.181 \text{ (\%)} \\
\Delta U_{z.3} &= \frac{0.03 \cdot (5.27 \cdot 0.072 + 18.46 \cdot 0.431)}{0.4^2 \cdot 10} = 0.156 \text{ (\%)} \\
\Delta U_{z.4} &= \frac{0.03 \cdot (8.29 \cdot 0.072 + 22.02 \cdot 0.431)}{0.4^2 \cdot 10} \approx 0.19 \text{ (\%)} \\
\Delta U_{z.5} &= \frac{0.03 \cdot (6.03 \cdot 0.072 + 19.07 \cdot 0.431)}{0.4^2 \cdot 10} = 0.163 \text{ (\%)} \\
\Delta U_{z.6} &= \frac{0.03 \cdot (8.79 \cdot 0.072 + 24.31 \cdot 0.431)}{0.4^2 \cdot 10} \approx 0.21 \text{ (\%)}
\end{aligned} \tag{2.10}$$

Надалі проведемо визначення із втрати $\Delta U_{\text{ЛПІ}}$, вона становитиме величину:

$$\Delta U_{\text{ЛПІ}} = \sum_{j=1}^n \Delta U_{z.(n)} \approx 1.037 \text{ (\%)} \tag{2.11}$$

Оскільки із (2.11) стає зрозуміло, що умова $\Delta U_{\text{ЛПІ}} = 1.037 \text{ (\%)} \leq 4 - 5 \text{ (\%)}$ виконується, то обрання типу кабелю виконано вірно.

Перевірка ЕМ за втратою $\Delta U_{\text{вд}}$ проводиться через $\Delta U_{\text{роз}}$ (втрати за напругою у найвіддаленішій точці ЕМ) та $\Delta U_{\text{доп}}$ (допустима для ЕМ, 25%):

$$\Delta U_{\text{роз}} \leq \Delta U_{\text{доп}} \tag{2.12}$$

2.2 Особливості визначення параметрів навантаження при наявних ЕД.

ЕМ 0.4 (кВ) також потрібно перевірити на відхилення напруги під час запуску найбільш потужного ЕД. Перевірка в умовах пуску проводиться наступним чином: спочатку визначаються параметри системи ЕП, зокрема опір трансформаторів та ЛП, а також характеристики ЕД, який запускається. Потім розраховується втрата напруги при запуску ЕД. Орієнтовно ця втрата напруги визначається так:

$$\Delta U_{\text{пуск}} = \frac{z_{em} \cdot 100(\%)}{z_{e\partial} + z_{em}} \leq 25\% \quad (2.13)$$

де: $z_{e\partial}$ – пусковий опір ЕД;

z_{em} – сумарний опір елементів ЕМ;

Загальний опір ЕМ визначено як:

$$z_{em} = z_{ЛП=10}^{0.4} + z_{ТП10/0.4} + z_{0.4} \quad (2.14)$$

Відповідно у (2.14): $z_{ЛП=10}^{0.4}$ та $z_{0.4}$ є повним опори ЛП 10 кВ та 0,38 кВ відповідно (при цьому опір ЛП 10 (кВ) є приведеним до рівня 0.4 (кВ)), $z_{ТП10/0.4}$ є повним опоро ТП.

Теоретично, при складанні опорів за формулою (2.14), слід окремо розглядати активні та індуктивні складові опорів мережевих елементів. Проте, оскільки умова успішного запуску ЕД (2.13) є наближеною, допускається складання модулів всіх повних опорів.

Питомий опором ЛП опір залежить від матеріалу проводу, перерізу проводу, температури повітря. У практичних розрахунках зазвичай не

враховують залежність $R_{o,j}$ від $T_{\text{пов}}$ та нагрівання проводу струмом, який проходить через нього.

Опір ЛП індуктивний й активний визначається як:

$$X_{\text{лп}} = L \cdot X_{o,j}$$

$$X_{o,j} = 0.0158 \cdot \mu + 0.146 \lg\left(\frac{2 \times D_c}{d}\right) \quad (2.15)$$

$$R_{\text{лп}} = L \cdot R_{o,j}$$

Важливо врахувати, що опір ЛП 10 (кВ) потрібно привести до рівня напруги 0.4 кВ за:

$$z_{\text{лп}=10}^{0.4} = z_{\text{лп}=10} \cdot \left(\frac{0.4}{10}\right)^2 \quad (2.16)$$

Тоді повний опір ЛП 10 (кВ) знайдемо як:

$$z_{\text{лп}=10} = \sqrt{X_{\text{лп}}^2 + R_{\text{лп}}^2} \quad (2.17)$$

Звідси:

$$X_{\text{лп}} = 0.072 \cdot 3 = 0.216 \left(\frac{\text{Ом}}{\text{км}} \right)$$

$$R_{\text{лп}} = 0.81 \cdot 3.5 = 2.835 \left(\frac{\text{Ом}}{\text{км}} \right) \quad (2.18.1)$$

$$z_{ЛП=10} = \sqrt{2.835^2 + 0.216^2} = 2.843 \text{ (Ом)} \quad (2.18.2)$$

Тоді:

$$z_{ЛП=10}^{0.4} = \sqrt{X_{лн(0.4)}^2 + R_{лн(0.4)}^2} \quad (2.19)$$

Опір ЛП визначається як:

$$X_{лн(0.4)} = 0.067 \cdot 0.35 = 0.0235 \left(\frac{\text{Ом}}{\text{км}} \right)$$

$$R_{лн(0.4)} = 0.39 \cdot 0.35 = 0.1365 \left(\frac{\text{Ом}}{\text{км}} \right) \quad (2.20)$$

$$z_{лн(0.4)} = \sqrt{0.0235^2 + 0.1365^2} = 0.1385 \text{ (Ом)}$$

В свою чергу опір трансформатора (Тр) розраховується як:

$$z_{ТП10/0,4} = \frac{U_{К.л} \cdot U_{Т.ном}}{100(\%) \cdot \sqrt{3} \cdot I_{Т.ном}} \quad (2.21)$$

де: $U_{К.л}$ – напруга КЗ у Тр (%);

$I_{Т.ном}$ – напруга номінальна у Тр;

$U_{Т.ном}$ – струм номінальний у Тр.

Тоді для визначення опору Тр у (2.21) підставляється ступінь НН, до якої підключений АД:

$$z_{ТП10/0,4} = \frac{5.5 \cdot 0.4 \cdot 10^2}{100(\%) \cdot \sqrt{3} \cdot 39} \approx 0.03 \text{ (Ом)} \quad (2.22)$$

Опір сумарний ЕМ дорівнює:

$$z_{em} = 2.843 + 0.1385 + 0.03 = 3.012 \text{ (Ом)} \quad (2.23)$$

Опір пусковий ЕД розраховується як:

$$z_{ed(en)} = \frac{U_{ed.ном}}{\sqrt{3} \cdot k_{i.n} \cdot I_{ed.ном}} \quad (2.24)$$

де: $I_{ed.ном}$, $U_{ed.ном}$ – номінальні струм і напруга ЕД у ЕП;

$k_{i.n} = 5.5$ – показник кратності струму ЕД;

$$z_{ed(en)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 5.5 \cdot 39} = 1.078 \text{ (Ом)} \quad (2.25)$$

Втрата напруги при запуску ЕД розраховується як:

$$\Delta U_{пуск(ed)} = \frac{0.03 \cdot 100}{0.03 + 1.078} = 2.71 \text{ (\%)} \quad (2.26)$$

Оскільки втрата напруги $\Delta U_{пуск(ed)} \leq \Delta U_{доd}$ при запуску ЕД не перевищує допустимого рівня, обраний провід відповідає вимогам. Якщо ж втрата напруги (ΔU) перевищує 25%, варто вжити заходів, таких як збільшення перетину проводу чи наближення ПС до об'єкта.

2.3 Визначення втрат енергії у навантажені та ЕМ пересилання.

Втрати електроенергії виникають через фізичні процеси у електрообладнанні та проводах під час передачі електроенергії через ЕМ. Існують різноманітні методи оцінки навантажувальних втрат, із яких найпоширенішим методом є максимальних втрат. Даний метод визначає втрати енергії на основі $P_{\max \cdot \text{нв}}$ (навантаження максимального) і $T_{(м)}$ кількості годин використання цього максимуму, яке задається у вихідних даних для розрахунку.

Значення втрат енергії у трифазній ЛП обчислюються:

$$\Delta W_{\text{ЛП}_1} = \tau_m \cdot \Delta P_{\max} \quad (2.27)$$

де: τ_m – час, коли втрати є максимальними, тобто час, протягом якого ЕУ із макс. навантаженням має рівні втрати, як і під час роботи за реальним графіком Нв. $\Delta P_{\max}$ – показник втрат потужності у 3-фазній ЛП.

Відповідно для дослідної ЕМ, яка включав свій склад РГ τ_m становить:

$$\tau_m = 0.692 \cdot T_{(м)} - 590 = 0.692 \cdot 2500 - 590 = 1140 \quad (2.28)$$

Втрати потужності у 3-фазній ЛП визначаються:

$$\Delta P_{\max} = 3 \cdot I_{\max}^2 \cdot R_{\text{ЛП}_1} \quad (2.29)$$

У (2.29) $R_{\text{ЛП}_1}$ виступає опором активним для ділянки ЛП, через яку проходить $I_{\max}$.

В цей час, втрати енергії у Тр обчислюються:

$$\Delta W_{T_1} = 8760 \cdot \Delta P_{T_1.xx} + \Delta P_{T_1.K} \cdot \tau_m \cdot \left(\frac{S_{T_1.max}}{S_{T_1.ном}} \right) \quad (2.30)$$

де: $\Delta P_{T_1.K}$, $\Delta P_{T_1.xx}$ – втрати у трансформаторі при КЗ та ХХ відповідно;

$S_{T_1.ном}$ –потужність номінальна Тр;

$S_{T_1.max}$ –потужність максимальна, передана через Тр протягом року.

Сумарні втрати енергії в ЕС визначаються як:

$$\Delta W_{ем} = \Delta W_{T_1} + \Delta W_{ЛП_1} \quad (2.31)$$

Розглянемо ТП₁ та ЛП₁ напругою 0,4 (кВ). Втрати за потужністю у 3-фазній ЛП:

$$\Delta P_{max.1} = 3 \cdot 26.89^2 \cdot 0.39 = 0.85 \text{ кВт}; \quad \Delta P_{max.2} = 3 \cdot 32.23^2 \cdot 0.39 = 1.2 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{max.3} = 3 \cdot 27.71^2 \cdot 0.39 = 0.9 \text{ кВт}; \quad \Delta P_{max.4} = 3 \cdot 33.96^2 \cdot 0.39 = 1.35 \text{ кВт}; \quad (2.32)$$

$$\Delta P_{max.5} = 3 \cdot 28.76^2 \cdot 0.39 = 0.97 \text{ кВт}; \quad \Delta P_{max.6} = 3 \cdot 37^2 \cdot 0.39 = 1.6 \text{ кВт}$$

Відповідно втрати енергії у 3-фазній ЛП складають:

$$\Delta W_{ЛП_1} = 1.14 \cdot 6.88 = 7.84 \text{ (кВт} \cdot \text{год)} \quad (2.33)$$

Втрати у Тр складають

$$\Delta W_{T_1} = 8760 \cdot 0.495 + 2.45 \cdot 1.14 \left(\frac{75}{160} \right)^2 \approx 4.95 \text{ (кВт} \cdot \text{год)} \quad (2.34)$$

І нарешті сумарні втрати згідно (2.31) складають:

$$\Delta W_{em} = \Delta W_{T_1} + \Delta W_{ЛП_1} = 4.95 + 7.84 = 12.79 \text{ (кВт} \cdot \text{год)} \quad (2.34)$$

Загальні втрати енергії ЕМ не перевищує допустимих 10%, тому ці розрахунки є задовільними.

2.4. Вибір типу трансформатору.

Обрання Тр для ТП₁ потребує визначення потужності за:

$$S_{T_1} = \frac{S_{роз.нв}}{k_{зв} \cdot n_{T(ПС)}} \quad (2.35)$$

де: $S_{роз.нв}$ – потужність розрахункові.

$n_{T(ПС)} = 1$ – кількості Тр у ПС.

$k_{зв} = 1.4$ коефіцієнт завантаженості Тр.

$$S_{T_1} = \frac{67.74}{1.4 \cdot 1} = 48.39 \text{ (кВА)} \quad (2.36)$$

За (2.36) обираємо Тр типу ТМГ-100 10/0.4 із наступними характеристиками (табл. 2.2). А на рис. 2.3 представлені габаритні розміри Тр.

Таблиця 2.2 Характеристики Тр типу ТМГ-100

Характеристика, позначення	Значення
(S _{ном}) Нормована потужність	100 (кВА)
(U _{ВН}) Напруга ВН	10 (6) (кВ)

(U_{HH}) Напруга НН	0.4 (кВ)
Схема й група з'єднань Тр	Y/Y н-0; Y/Zн-11; Δ/Y н-11;
(ΔP_{K3}) Втрати у КЗ / (ΔU_{K3}) Напруга при КЗ	1.97 (кВт) / 4.75(%)
(ΔP_{XX}) Втрати при XX	0.25 (кВт)
Габарити (Н*В*L)	1030*650*800 (мм)

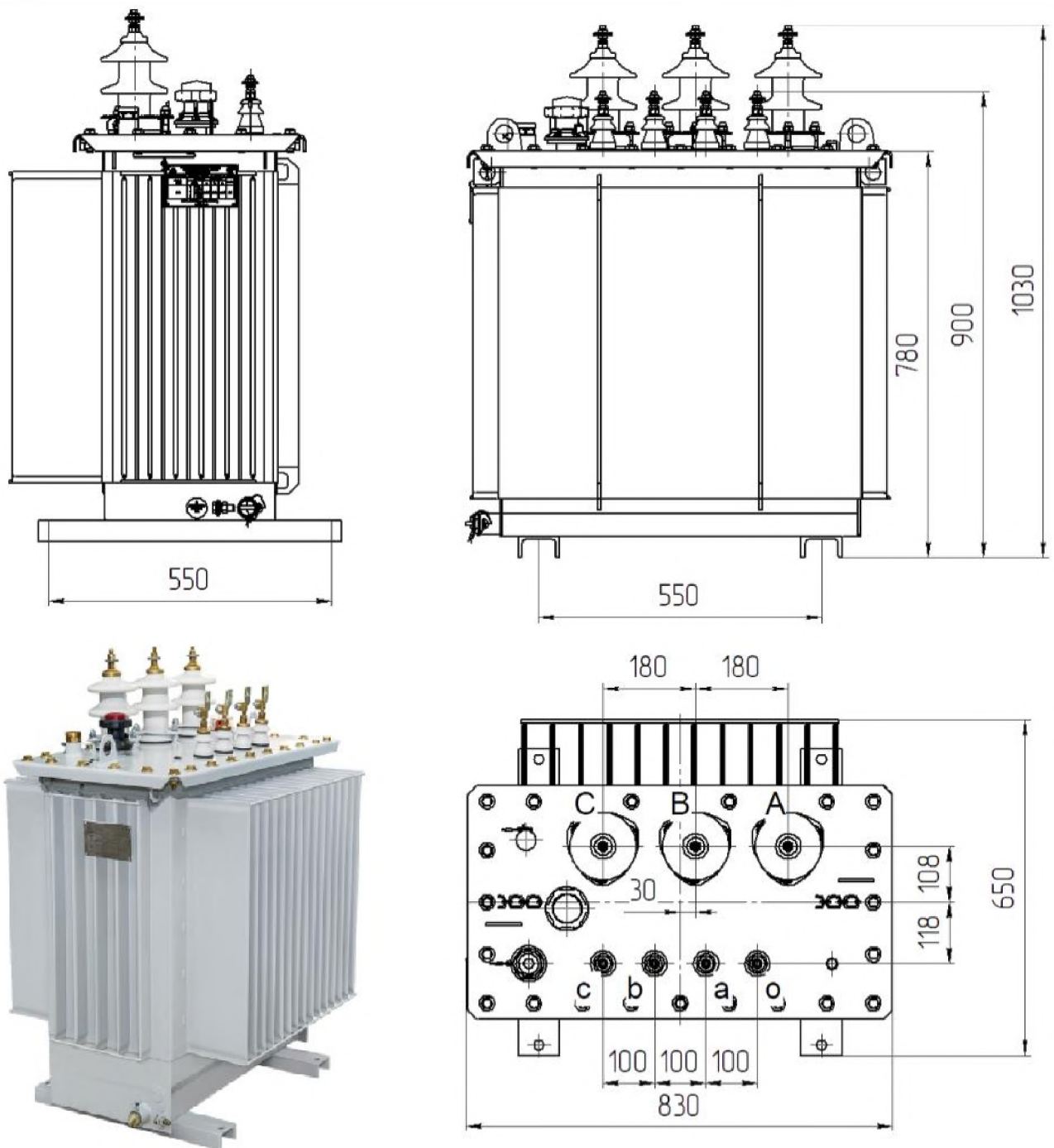


Рисунок 2.3 – Габаритні розміри обраного типу Тр

2.5 Визначення додаткових параметрів у ФЕС й вибір інвертору.

Номінальна потужність $S_{\Phi EM(ном)}$ у ФЕМ:

$$S_{\Phi EM(ном)} = \sqrt{3} \cdot U_{\Phi EM(ном)} \cdot I_{\Phi EM(ном)} \cdot \cos(\varphi_{\Phi EM(ном)}) \quad (2.37)$$

Номінальний струм $I_{\Phi EM(ном)}$ у ФЕМ:

$$\begin{aligned} I_{\Phi EM(ном)} &= \frac{S_{\Phi EM(ном)}}{\sqrt{3} \cdot I_{\Phi EM(ном)} \cdot \cos(\varphi_{\Phi EM(ном)})} = \\ &= \frac{585 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0.4 \cdot 10^3 \cdot 0.856} = 987.59 \text{ (A)} \end{aligned} \quad (2.38)$$

Струм $I_{\Phi EM(K)}$ вихідний у групі поєднаних ФМ перевищує величину $I_{\Phi EM(ном)}$ у 4.25 рази, тоді:

$$I_{\Phi EM(K)} = k_I \cdot I_{\Phi EM(ном)} = 4.25 \cdot 987.59 = 4197.26 \text{ (A)} \quad (2.39)$$

За визначеними (2.38–2.39) а також обраною у розділі 1.1 характеристикою СП, на даному етапі можна вибрати тип інвертору (Інв).

Розрахунковий струм $I_{інв(кз)}$ інвертору визначається відповідно за струмовим запасом:

$$I_{інв(кз)} = 0.95 \cdot I_{max(t=10)} = 0.95 \cdot 1075 = 1021.25 \text{ (A)} \quad (2.40)$$

У відповідності до (2.40) можна обрати тип АЕ АХ/Grid–100/150–6, параметри обраного інвертору наявні в табл. 2.3

Таблиця 2.3 – Параметри Інвертору для ФЕМ

Характеристика інвертору AXGRID-100/150-6	Величина, одиниці
Максимальна потужність постійного струму	150 (кВт)
Максимальна вхідна напруга постійного струму	1000 (В)
Пускова вхідна напруга постійного струму	250 (В)
Діапазон роботи MPPT	250-800 (В)
Кількість MPPT / рядків на MPPT	6/4
Номінальна вихідна потужність (кВт)	100 (кВт)
Діапазон напруги мережі змінного струму	277–460 (В)
Номінальна частота мережі	50 (Гц)
Номінальний вихідний струм мережі	144.9 (А)
Максимальний вихідний струм змінного струму	159,4 (А)
Кількість фаз	3
Номінальна напруга мережі змінного струму	220/380, 230/400 (В)
Максимальна активна потужність	110 [кВт]
Ефективність MPPT	> 99 (%)
Максимальна ефективність	98.3 (%)
Розмір, ДхШхВ	622*500*167.2 (мм)

Даний інвертор призначений для перетворення ПС, котра генерується ФЕМ, в ЗС, придатний для використання в ЕМ. Основні характеристики (табл. 2.3) цього інвертора визначають його ефективність, діапазон $I_{роб}$ й $U_{роб}$, потужність, а також кількість трекерів, котрі підвищують відбір потужності та ККД.

Інвертор має наступні робочі режими:

- Режим перетворення.
- Відбір $S_{max.ФЕС}$: при цьому інвертор оптимізує роботу СП, щоб отримати максимальну можливу потужність, незалежно від зовнішніх складових.

- Режим захисту – Інв автоматично вимикається чи знижує $S_{\text{вих}}$ при виявленні проблем, таких як перевантаження, перегрів або надмірна $U_{\text{вх}}$.
- Синхронізація з мережею: Інв синхронізує $U_{\text{вихід}}$ та частоту із ЕМ, забезпечуючи надійну й стабільну подачу електрики.

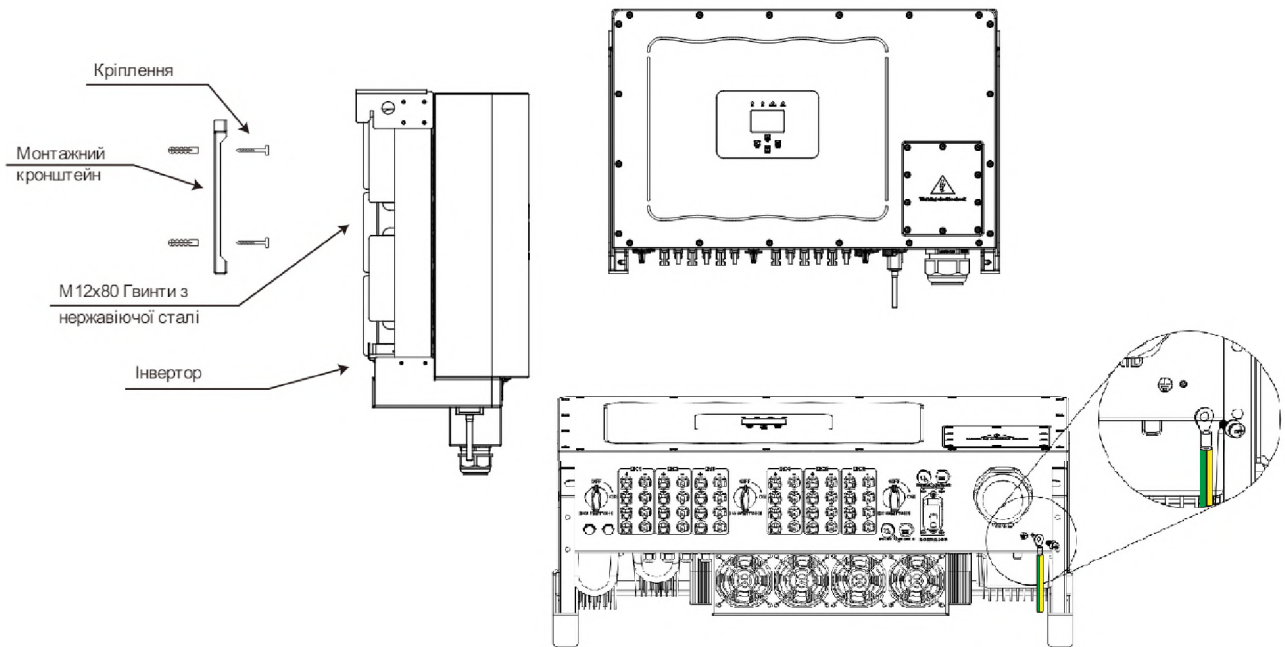


Рисунок 2.4 – Вигляд елементів із кріплення та керування силовими процесами у обраному інверторі

3. НАЛАШТУВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ У ЕМ РОЗПОДІЛУ.

3.1 Налаштування спільної роботи ФМ.

Панелі у ФЕС підключені за послідовно-паралельною схемою, як показано на рис. 3.1. Для забезпечення оптимальної роботи використовуються блокуючі та шунтуючі (обхідні) діоди. Обхідні діоди використовуються для захисту ФМ у випадку часткового затінення. Вони встановлюються паралельно до секцій сонячних елементів у панелі. Також вони призначені для уникнення повного виключення окремих панелей при локальному затінненні і зазвичай вже вбудовані у промислові панелі. Як блокуючі та шунтуючі діоди доцільно використовувати діоди Шоттки, оскільки вони мають менше падіння напруги при прямому включенні (0.25-0.45 (В) порівняно з 0.65-0.8 (В) у кремнієвих діодів), що дозволяє отримувати більше енергії.

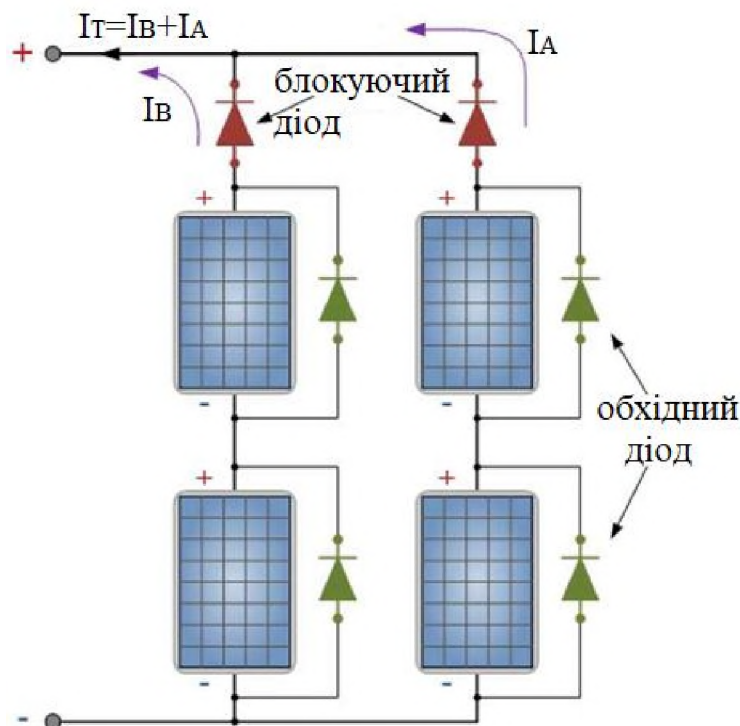


Рисунок 3.1 – Схема поєднання ФМ

Якщо у схемі є n_{nc} кількість СМ, які з'єднані послідовно, і кожен модуль захищений ОД, тоді:

Коли всі ФМ освітлені, струм через діоди $I_D=0$. В такому випадку загальна напруга $U_{г.ФМ}$ на групі модулів буде:

$$U_{вих.л.ФП} = U_{ФП} \cdot n_{nc} \quad (3.1)$$

У випадку, коли один із ФМ у групі затінений і його $U_{вих}$ зменшується, ОД починає проводити струм. Тоді, якщо затіненим є модуль № k , який генерує напругу $U_{вих.к.ФП}$ та струм $I_{вих.к.ФП}$. Тоді даний діод починає проводити, коли:

$$U_{(k).д.ФП} = 0 \quad (3.2)$$

де: $U_{(k).д.ФП}$ – величина напруги на затіненому модулі. У такому випадку загальний струм через групу ФМ буде підтримуватись обхідним діодом становить:

$$I_{вих.л.ФП} = I_{(k).д.ФП} + \sum_{i \neq k} I_{ФП} \quad (3.3)$$

Блокуючі діоди використовуються для запобігання $I_{зв}$ зворотному струму, котре може протікати від АБ або інших ФМ у систему. Вони встановлюються послідовно з групою модулів.

Припустимо, що у нас є два масиви ФМ, з'єднані паралельно, і кожен масив захищений блокуючим діодом. Відповідно:

- $U_{г.ФМ1}$, $U_{г.ФМ2}$ – напруги на першій й другій групах ФМ відповідно.
- $I_{г.ФМ1}$, $I_{г.ФМ2}$ – струми, котрі генеруються першою і другою групами ФМ.
- $I_{б.Д1}$, $I_{б.Д2}$ – струми через блокуючі діоди.

Якщо $U_{г.ФМ1} > U_{г.ФМ2}$, діод у другій ланці буде заблокований, і струм через нього буде $I_{\delta.D2}=0$. У даному випадку загальний струм у системі буде:

$$I_{вих.л.ФП} = I_{\delta.D1} + I_{\delta.D2} \quad (3.4)$$

Якщо напруги на групах є вирівняні $U_{г.ФМ1} \approx U_{г.ФМ2}$, блокуючі діоди дозволять струм через обидві групи (відповідно - $I_{\delta.D1}$, $I_{\delta.D2}$), і $I_{вих.л.ФП}$ загальний струм буде:

$$I_{вих.л.ФП} = I_{\delta.D1} + I_{\delta.D2} \quad (3.5)$$

Отже, ОД є критичним компонентом для забезпечення надійності ФМ. Він захищає панель від перегріву й пошкоджень, спричинених частковим затіненням, і дозволяє зберігати продуктивність системи навіть за несприятливих зовнішніх умов. Завдяки цим функціям, ОД допомагають забезпечити довговічність ФЕС.

Коли частина ФМ затінена, відповідні СП можуть не генерувати струм. У відсутність ОД, ці елементи починають працювати як навантаження, споживаючи енергію, що генерується іншими, незатіненими ФМ. Це може призвести до перегріву та пошкодження СП. ОД забезпечує шлях для струму, що обходить затінені елементи, зменшуючи ризик пошкодження та зберігаючи загальну продуктивність СП.

ОД зменшує утворення точок нагріву, які виникають, коли затінені або несправні ФМ перетворюються в резистори, які нагріваються через протікання струму від інших елементів. Це нагрівання може призвести до незворотного пошкодження елементів та зниження ефективності СП. ОД забезпечує шлях для струму, що запобігає утворенню цих точок нагріву.

Завдяки ОД, СП можуть продовжувати ефективно працювати навіть за умов часткового затінення. Хоча затінені частини панелі не генерують струму,

незатінені частини продовжують працювати майже на повну потужність, завдяки наявності шляхів обходу для $I_{г.ФМ.п.}$.

Якщо в ланцюзі панелей відбувається обрив, ОД можуть забезпечити альтернативний шлях для струму, дозволяючи системі продовжувати генерувати електроенергію хоч і на зниженій потужності.

3.2 Налаштування роботи контролеру СЗ та алгоритму його функціонування.

Основні переваги від використання контролеру заряду із працюючим алгоритмом із послідуною його оптимізацією:

I. Високий ККД: досягає 96-98% без використання вентиляторів для охолодження.

II. Швидкодія (значна): забезпечує до 12-15% вищу ефективність порівняно із іншими контролерами за МП до 35-40(%) вищу ефективність порівняно з ШІМ.

III. Температурна компенсація: корекція режимів заряду для подовження терміну служби АБ.

IV. Допустима напруга: максимальна $U_{вх}$ контролера здатна досягати 124-150 (В).

V. Підтримка сучасних АБ: можливість підключення АБ із наявною системою управління.

VI. Гнучкість підключення: наявність виходу для підключення силового реле чи навантаження, котре дозволяє електронно керувати зовнішніми пристроями.

VII. Автоматичне підключення й вимкнення навантаження під час заряду або розряді АБ.

VIII. Заряд у три стадії: такий тип включає буферний режим для оптимального заряду.

IX. Можливість оновлення вбудованого ПЗ.

X. Захист від впливу вологості: плата контролера покрита

вологонепроникним лаком, що мінімізує негативний вплив підвищеної вологості.

У контролеру існують наступні вбудовані механізми захисту при роботі у ФЕС серед них:

- I. Захист від КЗ на вході СП та у навантаженні.
- II. Системи захисту (СЗ) від полярності неправильної: допомагає уникати пошкодження при неправильному підключенні СП.
- III. Вимкнення СП після досягнення кінцевої напруги заряду АКБ: запобігає перезаряду.
- IV. СЗ від перегріву: вимикає контролер при перевищенні допустимої температури.
- V. СЗ від обриву в гілці з'єднаних АКБ: запобігає виходу із ладу в разі розриву ланцюга.
- VI. Вимкнення навантаження при пониженій $U_{\text{ном.АКБ}}$: захищає батарею від надмірного розряду.
- VII. Електронний запобіжник: виконує додатковий захист від перевантаження.
- VIII. Запобігання розряду АКБ через СП у нічний час.

$$f(y) = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{P_{(\max)}^i - P_{(\max)}^{y,i}}{P_{(\max)}^i}}{N} \quad (3.6)$$

де: $P_{(\max)}^i$ –потужність максимальна масиву СП

$P_{(\max)}^{y,i}$ – потужність, яка конфігурується СП

N – кількість прикладів;



Рисунок 3.2.а – Архітектура відстеження ТМП для масиву ФМ

Для досягнення цілей було обрано мову програмування Python завдяки її універсальності. Використовувався модуль PVlib, який дозволяє отримувати деякі основні характеристики ФП. Основу бібліотеки PVlib складають програмно реалізовані методики розрахунку характеристик процесу перетворення фотовольтаїки за допомогою пристроїв напівпровідникових, якими є власне ФМ. Також реалізовано процес візуалізації результатів розрахунків (рис. 3.2.б) із використанням додаткових бібліотек функцій.

Поєднання програмних інструментів PVlib-Python дозволяє як розробнику, вибирати координати розташування ФМ, її модель та характеристики додаткових пристроїв сонячного перетворювача, наприклад, модель інвертору. Для моделювання ФЕС використовуються середні погодні дані за декілька десятиліть для Львівської області, для того аби обробити дані такого масиву застосовувався алгоритм читання наведений на рис. 3.2. Тут показано читання та візуалізація даних для одного дня, за таким самим принципом він працює і для більшої кількості діб.

Можна також використовувати будь-яку іншу базу даних PVGIS, наприклад, погодні дані за попередній рік календарний.

```
import matplotlib.pyplot as plt

plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(data_df['DATE_TIME'], data_df['AC_POWER'], label='S(t)')
plt.xlabel('Час', fontsize=14)
plt.ylabel('Потужність ФЕС вихідна (в.о)', fontsize=14)
plt.title('S(t)', fontsize=14)
plt.legend()
plt.show()
```

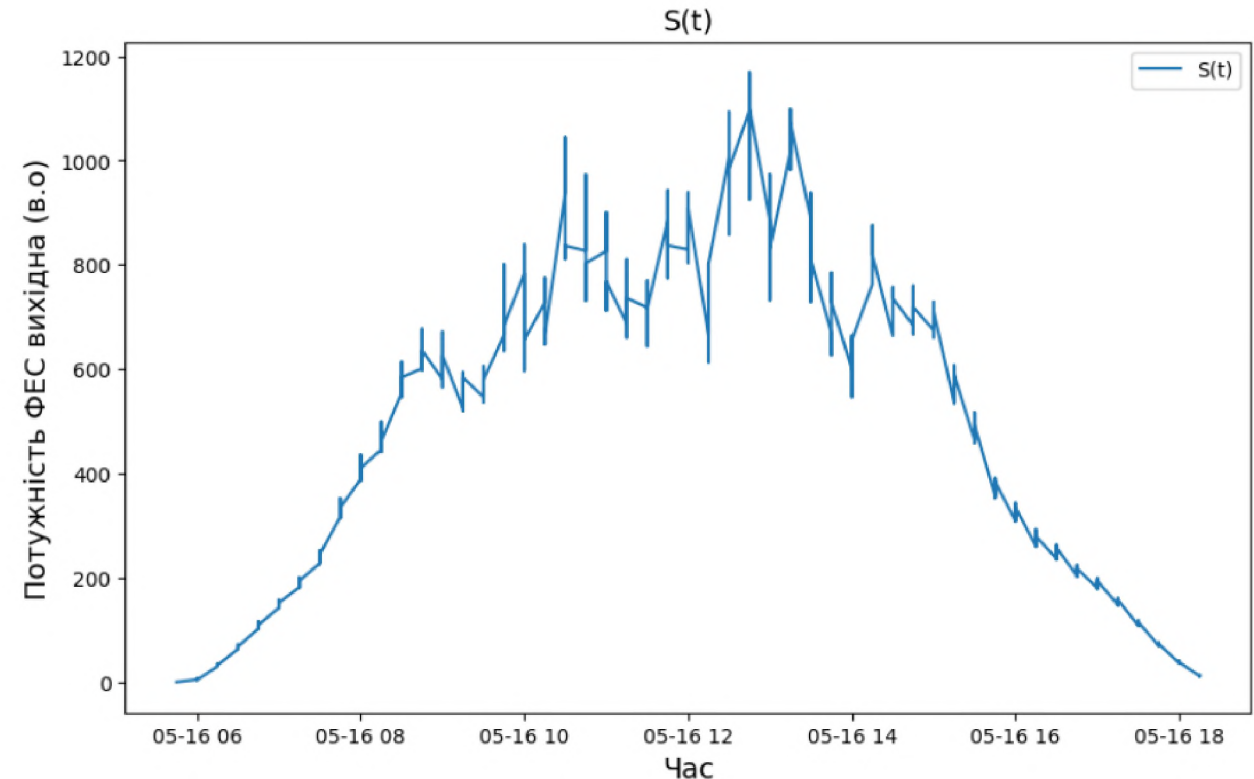


Рисунок 3.2.6 – Алгоритм зчитування даних із вимірної бази

Створення програми для контролера заряду ФЕС, що управляє зарядом у станції накопичення енергії й слідує за точкою МП, включає декілька основних кроків. На рис. 3.3 представлений код, який виконує ці функції, і візуалізує дані.

Визначення параметрів сонячних модулів і ФЕС: Основні параметри модуля та системи задаються на початку скрипту.

Функція MPPT: використовується проста функція для пошуку $S_{\max}$, яка порівнює потужність на поточному і попередньому етапах і зберігає більше значення.

Симуляція роботи: виконується симуляція протягом 24 годин з моделюванням інсоляції та температури.

Візуалізація: виводяться графіки інсоляції, температури та потужності на виході ФЕС.

Це ПЗ є базовим і може бути доповнена для більш детального моделювання та оптимізації роботи ФЕС.

```

1  import numpy as np
2  import matplotlib.pyplot as plt
3
4  # Параметри сонячних модулів
5  P_max_module = 650 # Вт
6  V_oc_module = 45.58 # В
7  I_sc_module = 18.16 # А
8  V_mpp_module = 37.61 # В
9  efficiency_module = 20.92 / 100 # ККД
10
11 # Параметри ФЕС
12 total_power_FES = 500e3 # 500 кВт
13 num_modules = total_power_FES / P_max_module
14 num_series = 24 / V_mpp_module
15 num_parallel = num_modules / num_series
16
17 # Параметри акумуляторів
18 battery_voltage = 24 # В
19 Soc=100
20
21 # Вихідні характеристики
22 V_mpp = V_mpp_module
23 I_mpp = P_max_module / V_mpp_module
24
25 # MPPT функція
26 def mppt(V, I, V_prev, I_prev):
27     P = V * I
28     P_prev = V_prev * I_prev
29     if P > P_prev:
30         return V, I

```

Рисунок 3.3 – Введення початкових даних для алгоритму

ПЗ, для розрахунку характеристик ФЕС, містять такі блоки:

– завантаження бібліотек команд для вирішення конкретного завдання (рис. 3.3);

– використання баз даних по сонячній активності для Львівської обл.;

– проведення розрахунків електричних та характеристик

використовуваного ФМ за допомогою завантажених функцій;

- представлення результатів розрахунків у графічному вигляді (рис. 3.4).

```

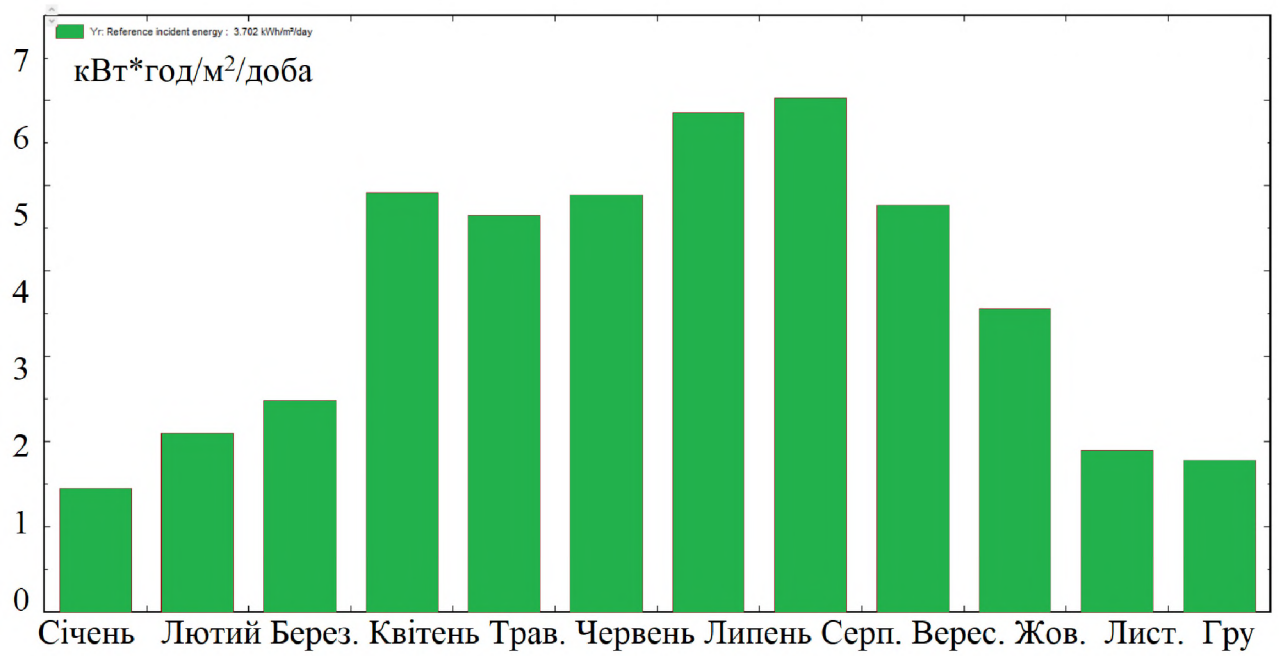
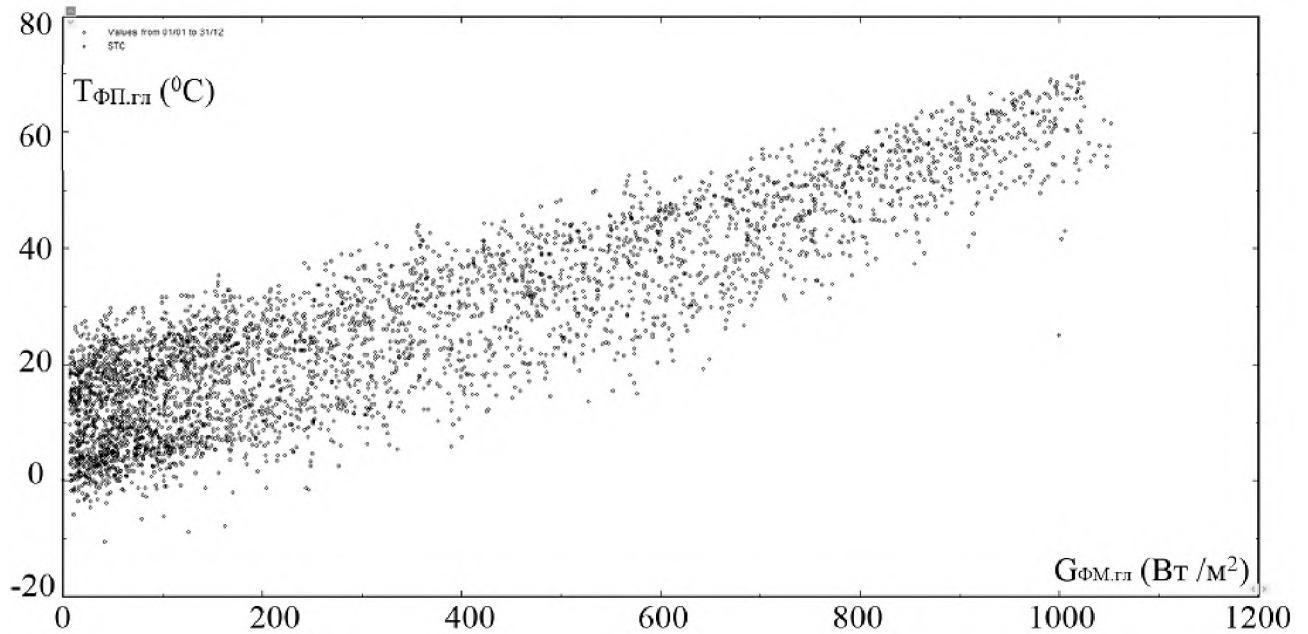
34  # Симуляція
35  time = np.linspace(0, 24, 1000) # Часовий діапазон (24 години)
36  insolation = 1000 * np.sin(np.pi * time / 24) # Модель інсоляції
37  temperature = 25 + 10 * np.sin(np.pi * time / 24) # Модель температури
38
39  V_array = []
40  I_array = []
41  P_array = []
42
43  V_prev, I_prev = V_mpp, I_mpp
44
45  for t in range(len(time)):
46      G = insolation[t] # Потужність інсоляції
47      T = temperature[t] # Температура
48
49      # Моделювання змін параметрів
50      V_mpp = V_mpp_module * (1 + 0.004 * (T - 25))
51      I_mpp = P_max_module / V_mpp
52
53      V_mpp, I_mpp = mppt(V_mpp, I_mpp, V_prev, I_prev)
54
55      V_array.append(V_mpp)
56      I_array.append(I_mpp)
57      P_array.append(V_mpp * I_mpp)
58
59      V_prev, I_prev = V_mpp, I_mpp
60

```

Рисунок 3.4 – Візуалізація ФМ

Алгоритм модулю PVlib дозволяє розраховувати й будувати багато різних характеристик ФМ, але через їх велику кількість наведемо розрахунки лише деяких із них:

- Нахил простого привода СП — трекера із однією віссю в залежності від положення Сонця;
- ВАХ, які є основними для ФП і залежать від температури панелей (рис. 3.5) та іррадіації (рис. 3.6).

Рисунок 3.5 – Характеристика $G_{ФП,дб}(t_p)$ Рисунок 3.6– Характеристика $I_{ФП,гп}(G_{ФП,гп})$

На рис. 3.7 представлено аналіз даних рівня інсоляції протягом тижня роботи ФЕС.

```
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
# Визначаємо початок і кількість рядків для читання
num_rows = 600 - start_row
# Читаємо рядки з 2000-го по 5000-й з CSV-файлу
data_df2 = pd.read_csv("dataset_wind/23/Plant_1_Weather_Sensor_Data.csv", skiprows=range(1, start_row), nrows=num_rows)
# Перетворення DATE_TIME на формат datetime
data_df2['DATE_TIME'] = pd.to_datetime(data_df2['DATE_TIME'], format='%Y-%m-%d %H:%M:%S')
# Виведення перших кількох рядків для перевірки
# wind_wg2=pd.read_csv("dataset_wind\s5_clr_data.csv", sep=',')
data_df2.head()
plt.figure(figsize=(18, 4))
plt.plot(data_df2['DATE_TIME'], data_df2['IRRADIATION'], label='Gd(t)')
plt.xlabel('Час', fontsize=14)
plt.ylabel('Гд(t) (кВт/м^2)', fontsize=14)
plt.title('Gd(t)', fontsize=14)
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()
```

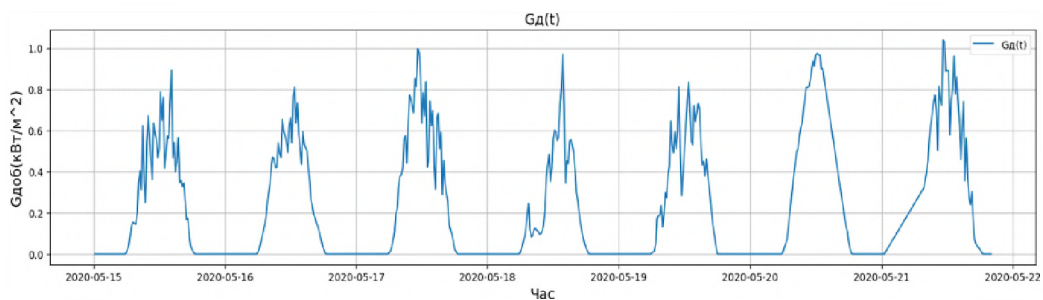


Рисунок 3.7 – Візуалізація тижневої інсоляції у ФЕС

3.3 Створення й налаштування системи із НЛ.

Перед тим як розпочати роботи із підсистемою нелінійною логіки (НЛ), котра завдяки прогнозуванню

```
import numpy as np # numpy - для роботи з масивами
import tensorflow as tf # tensorflow - для створення та навчання НМ
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import Conv2D, MaxPooling2D, Flatten, Dense, LSTM
from skfuzzy import control as ctrl # Нечітке управління
from pyswarm import pso # для оптимізації з використанням PSO
import matplotlib.pyplot as plt # matplotlib - для побудови графіків
```

Рисунок 3.8 – Імпорт необхідних для системи із НЛ бібліотек

```
# Симуляція даних для навчання та тестування
def load_data():
    # Завантаження даних СП та дані датчиків
    X_images = np.random.rand(100, 64, 64, 3)
    X_sensors = np.random.rand(100, 10) # 100 наборів з 10 сенсорних значень
    y = np.random.rand(100) # 100 цільових значень (генерована потужність)
    return X_images, X_sensors, y

X_images, X_sensors, y = load_data()
```

Рисунок 3.9 – Розбиття даних на тестові й практичні набори

Для створення моделі максимізації $S_{\text{ген}}$ реконфігурованої ФЕС у вигляді модифікованої нечіткої глибокої ШНМ, використовуються такі компоненти:

1. Архітектура модифікованої ШНМ.

– Згортковий блок (рис. 3.10):

- Вхід (надалі - V_x): виміряні показники із МСП.
- Завдання(надалі - Z_v): виділення просторових ознак із виміряні

показників.

• Архітектура (надалі - A): декілька шарів згуртування із наступними шарами підвибірки.

```
# Налаштування CNN для обробки зображень
model_cnn = Sequential([
    Conv2D(32, (3, 3), activation='relu', input_shape=(64, 64, 3)), # Перший шар згортки
    MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)), # Перший шар підвибірки
    Conv2D(64, (3, 3), activation='relu'), # Другий шар згортки
    MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)), # Другий шар підвибірки
    Flatten(), # Вирівнювання вихідних даних
    Dense(128, activation='relu'), # Повнозв'язний шар
    Dense(64, activation='relu'), # Повнозв'язний шар
])
```

Рисунок 3.10 – Створення блоку згортки

– Рекурентні мережі:

- V_x : оброблені блоком (згортки) ознаки.
- Z_v : вивчення тимчасових залежності й послідовних даних.
- A : гілка GRU шарів у ШНМ.

```
# Налаштування RNN для обробки послідовних даних
model_rnn = Sequential([
    LSTM(50, return_sequences=True, input_shape=(10, 1)),
    # Перший рекурентний шар з LSTM
    LSTM(50), # Другий рекурентний шар з LSTM
    Dense(25, activation='relu'), # Повнозв'язний шар
    Dense(10, activation='relu'), # Повнозв'язний шар
])
```

Рисунок 3.11 – Налаштування рекурентні мережі для НЛ

– Нечіткі блоки:

- Вх: сигнал від рекурентних мереж.
- Зв: прийняття рішень на основі НЛ для генерації сигналів вихідних.
- А: НЛ шарі, котрі перетворюють дані вхідні в нечіткі значення,

проводять операції НЛ і дефазифікацію.

2. Оптимізація архітектури.

Для налаштування моделі застосовується модифікований оптимізатор багатовимірних ЧР:

– Модифікований оптимізатор БЧР:

- Зв: оптимізація структури для максимізації $S_{\text{ген}}$.
- Процес: використання ієрархічного кодування розмірності простору

положення часток для пошуку оптимальної архітектури.

3. Алгоритм оптимізації:

– Ініціалізація:

- Проектування популяції початкової часток із випадковими позиціями.
- Кодування простору положення часток.

– Оновлення положення часток:

- Використання функції фітнесу для оцінки поточної конфігурації.
- Оновлення положення часток на основі їх швидкості, особистого та

глобального найкращого положення.

– Фітнес-функція:

- Оцінка $S_{\text{ген}}$ для кожної конфігурації мережі.
- Врахування неоднорідної інсоляції при розрахунках.

```
# Наступний крок - налаштування нечіткої системи
temperature = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 101, 1), 'temperature') # НЗ для температури
irradiance = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 101, 1), 'irradiance') # НЗ для інсоляції
power = ctrl.Consequent(np.arange(0, 101, 1), 'power') # НЗ для потужності
# Визначення нечітких множин для температури
temperature['low'] = ctrl.trimf(temperature.universe, [0, 0, 50])
temperature['medium'] = ctrl.trimf(temperature.universe, [0, 50, 100])
temperature['high'] = ctrl.trimf(temperature.universe, [50, 100, 100])
# Визначення нечітких множин для інсоляції
irradiance['low'] = ctrl.trimf(irradiance.universe, [0, 0, 50])
irradiance['medium'] = ctrl.trimf(irradiance.universe, [0, 50, 100])
irradiance['high'] = ctrl.trimf(irradiance.universe, [50, 100, 100])
# Визначення нечітких множин для потужності
power['low'] = ctrl.trimf(power.universe, [0, 0, 50])
power['medium'] = ctrl.trimf(power.universe, [0, 50, 100])
power['high'] = ctrl.trimf(power.universe, [50, 100, 100])
# Визначення правил нечіткої логіки
rule1 = ctrl.Rule(temperature['low'] & irradiance['low'], power['low'])
rule2 = ctrl.Rule(temperature['medium'] & irradiance['medium'], power['medium'])
rule3 = ctrl.Rule(temperature['high'] & irradiance['high'], power['high'])
# Створення та компіляція нечіткої системи управління
power_ctrl = ctrl.ControlSystem([rule1, rule2, rule3])
power_sim = ctrl.ControlSystemSimulation(power_ctrl)
```

Рисунок 3.12 – Алгоритм оптимізації у ФМ

4. Генерація вихідних сигналів:

– Обробка сигналів датчиків та зображень МСП:

- Вхідні дані: сигнали датчиків та ініціалізації.
- Обробка: налаштована ШНМ обробляє дані та генерує $U_{\text{оп}}$.

– Формування матриці електричних взаємозв'язків:

- Вихід: матриця паралельно-послідовного з'єднання МСП.
- Зв: забезпечення глобального $S_{\text{макс}}$.

Таким чином, модифікована нечітка глибока ШН, налаштована на основі модифікованого оптимізатора БЧР, здатна ефективно максимізувати $S_{\text{ген}}$. ФЕС під час неоднорідній інсоляції, забезпечуючи оптимальну конфігурацію ЕС.

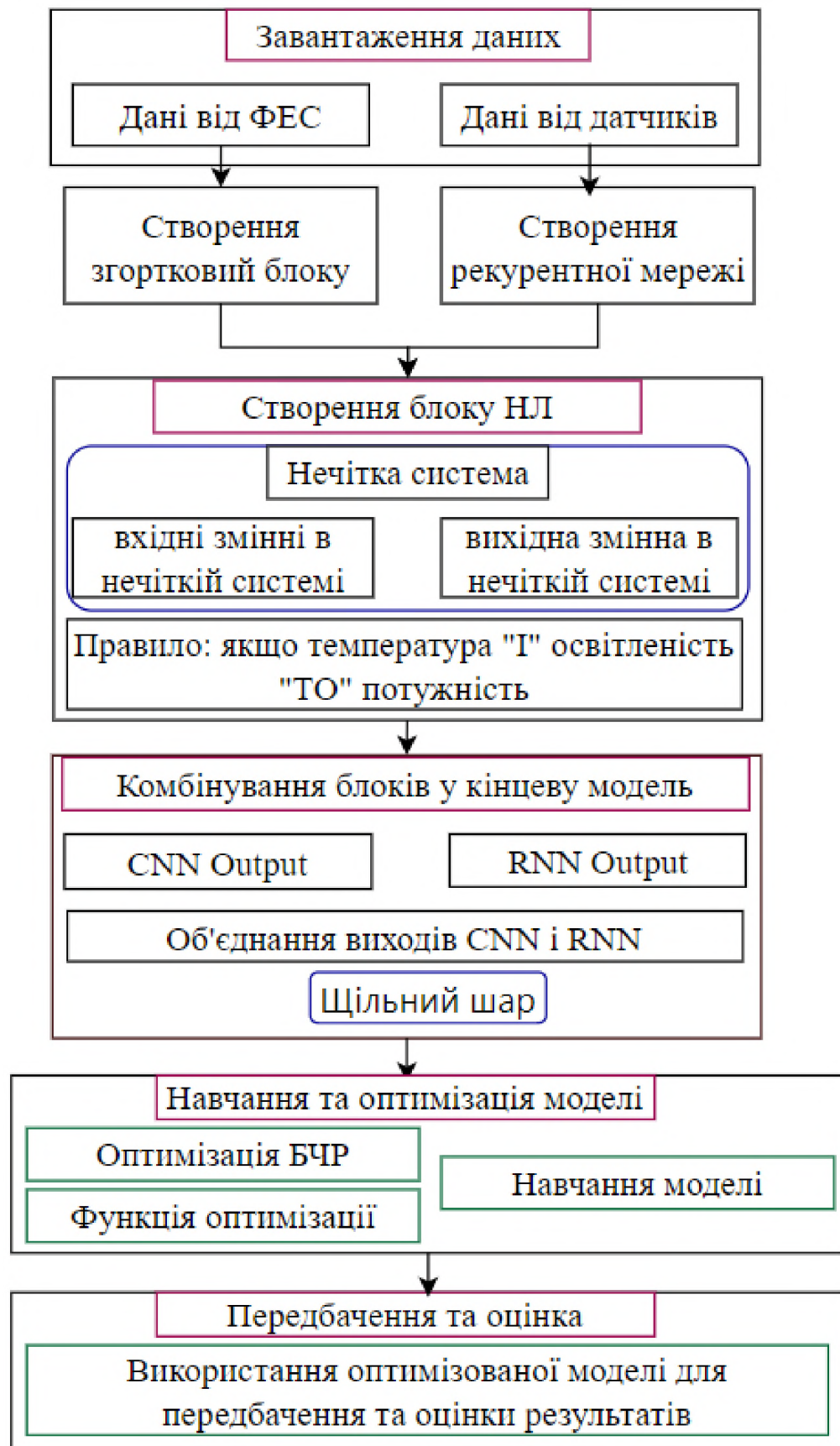


Рисунок 3.13 – Алгоритм роботи НЛ у МСП

4. ПЕРЕВІРКА ОПТИМАЛЬНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ІЗ ФЕС ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ.

Моделювання роботи ФЕС в Matlab є визначним етапом у проектуванні та оптимізації роботи ЕС в цілому, що дозволяє отримати детальну картину функціонування системи під впливом різних факторів. Вхідні показники для моделювання СЕС мають вирішальне значення з декількох причин, що буде проаналізовано далі.

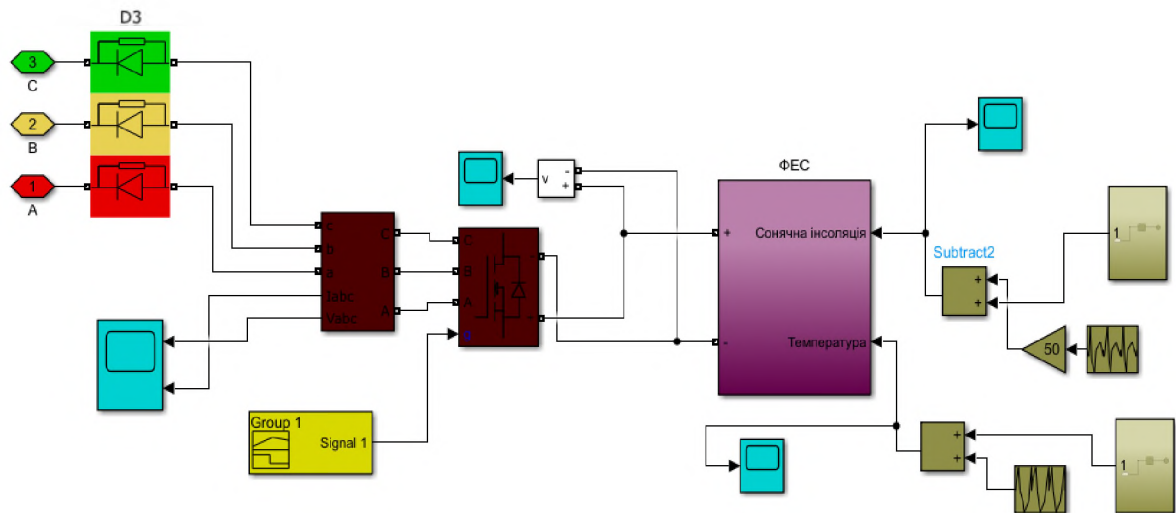


Рисунок 4.1 – Математична модель проектованої ФЕС

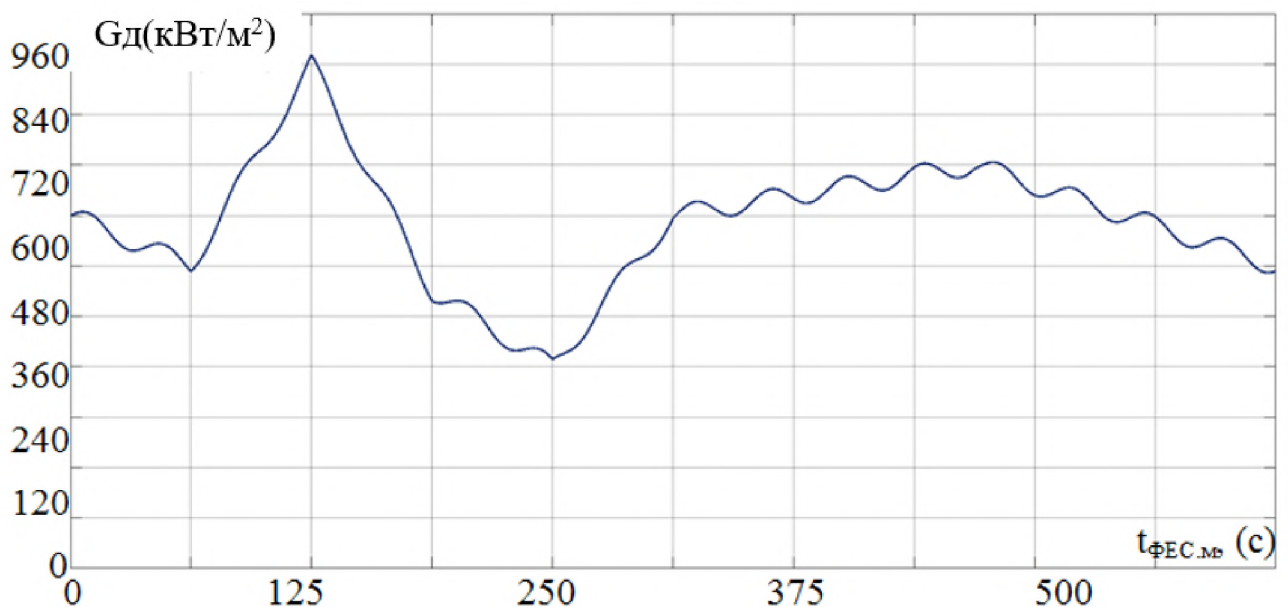


Рисунок 4.2 – Початковий (вхідний) рівень сонячної інсоляції

Моделювання сприяє ретельному аналізу поведінки системи за різних умов. Використання графіків та діаграм, таких як, побудована за розрахунками розділів 2-3, мат. модель проектованої ФЕС (рис. 4.1) і початковий (діючий при моделюванні) рівень інсоляції (рис. 4.2), дозволяє наочно оцінити вплив кліматичних умов на роботу ЕС. Це важливо для визначення оптимальних робочих параметрів і прогнозування потенційних відхилень у роботі.

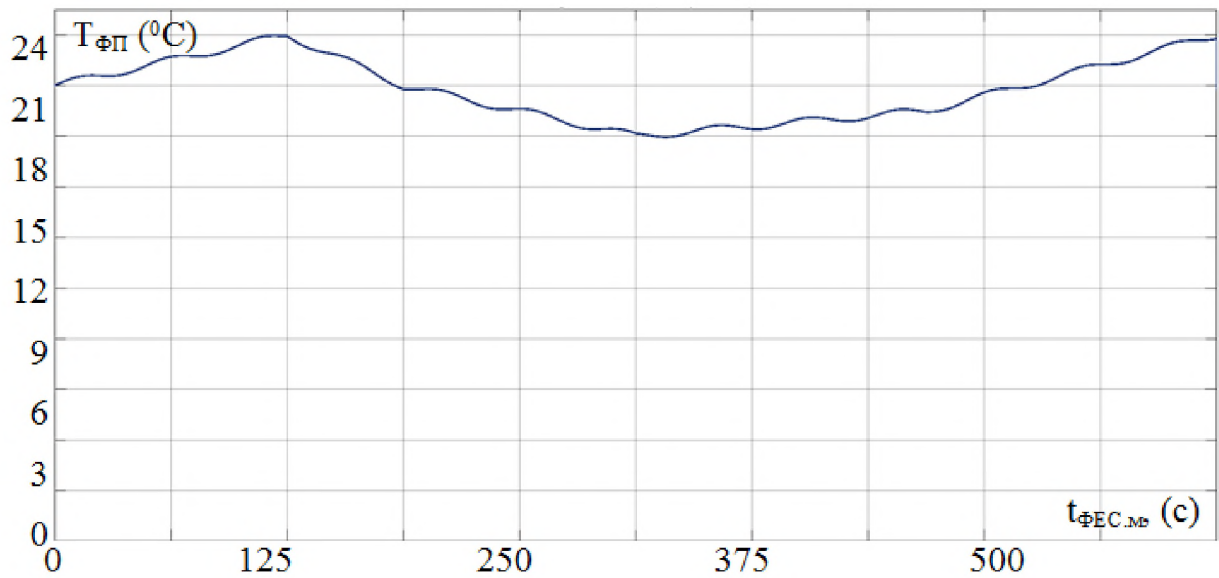


Рисунок 4.3 – Діючий рівень температури панелей у ФЕС

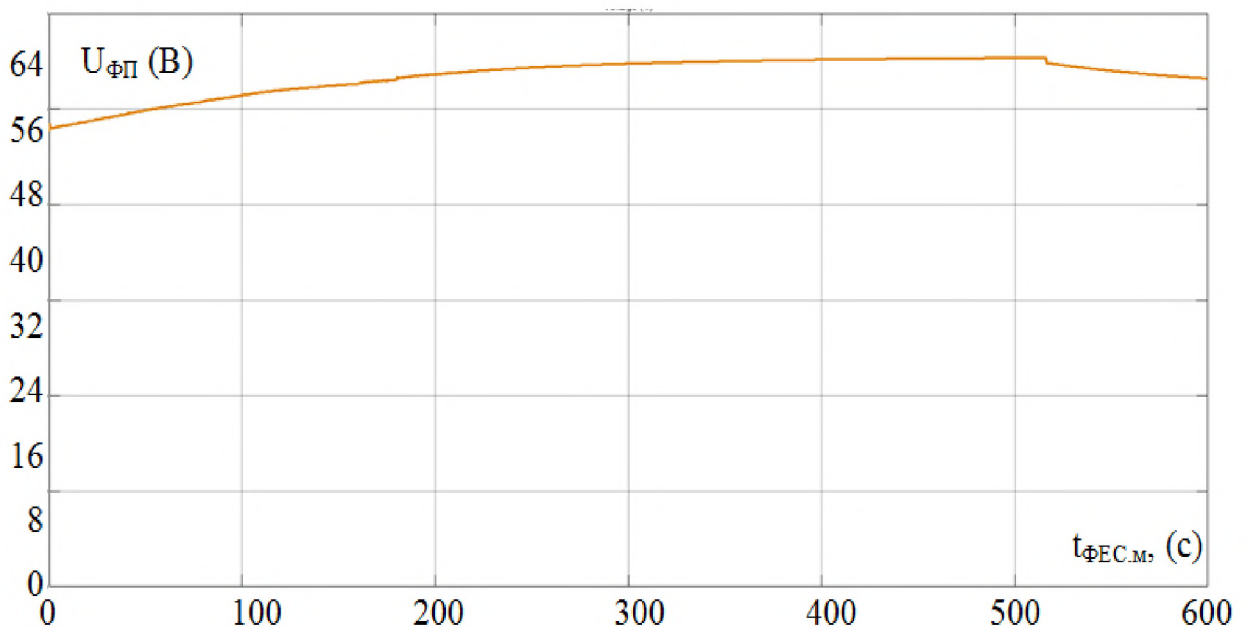


Рисунок 4.4— Діюча вихідна напруга фотоелектричної панелі ЕС

Аналіз вихідної ВАХ повної ФЕС (рис. 4.5) та окремих модулів (рис. 4.6) дозволяє отримати детальну інформацію про генерацію електроенергії за різних рівнів інсоляції й температур. Це сприяє оптимізації конструктивних рішень та покращенню загальних характеристик ЕС. Наприклад, моделювання діючої $U_{\text{вихід}} \cdot \text{ФЕС(ФМ)}$ (на рис. 4.4) дозволяє оцінити вплив зовнішніх умов на параметри роботи та виявити можливості для підвищення показників стабільності системи.

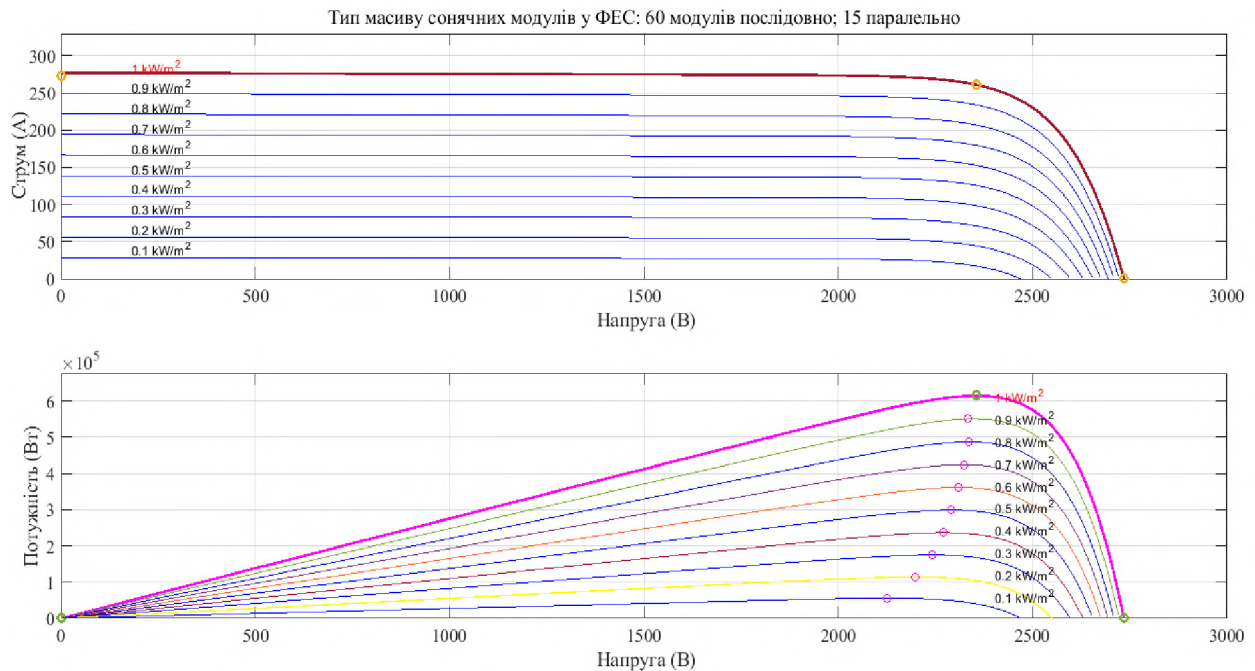


Рисунок 4.5 – Вихідна ВАХ повної ФЕС (із умовою моделювання для Львівської області) в залежності від показника рівня інсоляції

Положення точки МП залежить від декількох факторів, таких як температура, освітленість модуля та різномірність використовуваних модулів. Контролер періодично відхиляється від попередньо знайденої точки в обидва боки, щоб перевірити, чи збільшується потужність. Якщо потужність зростає, контролер перемикається на нову точку МП. Хоча теоретично під час пошуку ТМ втрачається невелика кількість енергії, ці втрати є незначними порівняно з додатковою енергією, яку забезпечує контролер, особливо під час наявних умов хмарної погоди. На рис. 4.5 та 4.6 показано зміщення ТМ в залежності від зовнішніх умов.

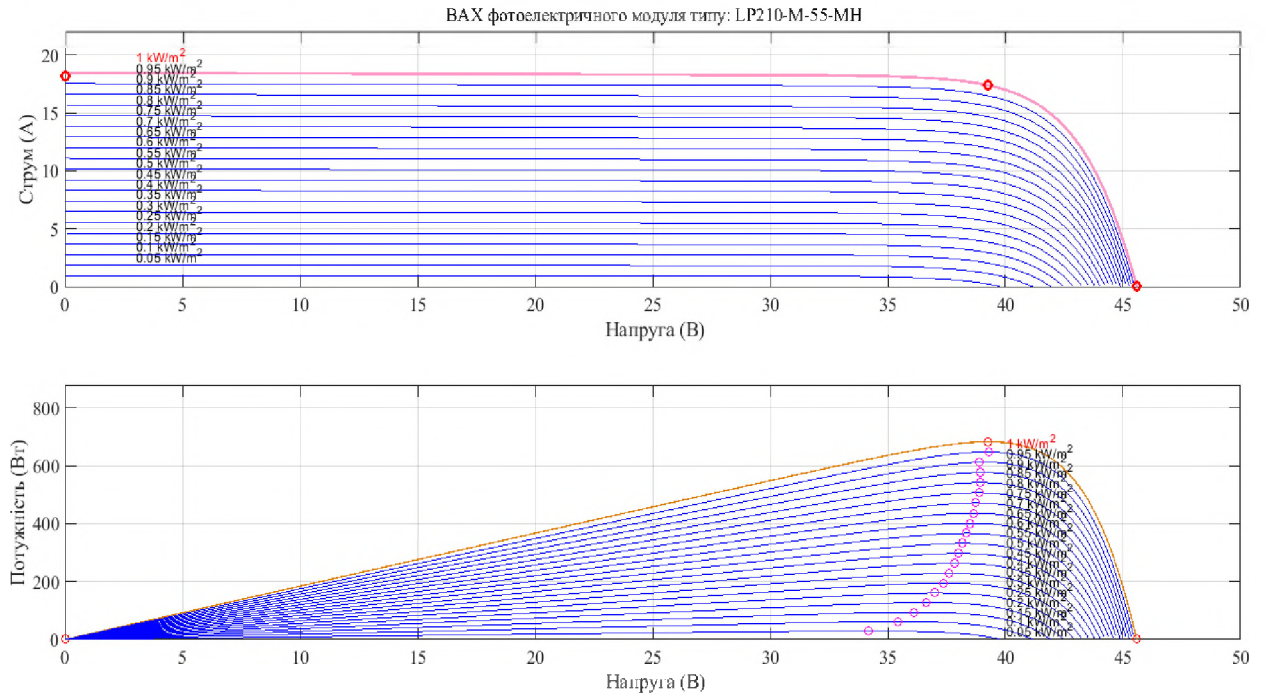


Рисунок 4.6 – ВАХ одного сонячного модуля із ФЕС в залежності від показника рівня інсоляції

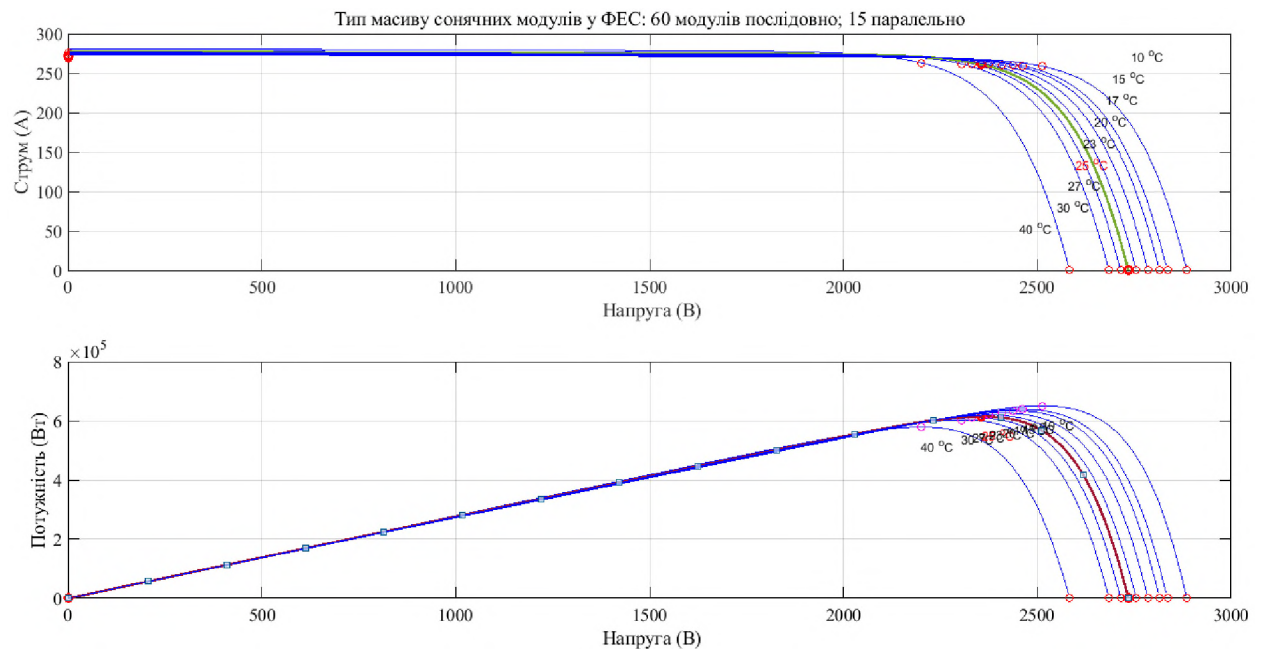


Рисунок 4.7 – Вихідна ВАХ повної ФЕС (із умовою моделювання для Львівської області) в залежності від зміни температури модуля, рівень інсоляції є незмінним

Section	Parameter	Value
Array data	Parallel strings	15
	Series-connected modules per string	60
Module data	Module	User-defined
	Maximum Power (W)	684.0834
	Cells per module (Ncell)	132
	Open circuit voltage Voc (V)	45.58
	Short-circuit current Isc (A)	18.16
	Voltage at maximum power point Vmp (V)	39.27
	Current at maximum power point Imp (A)	17.42
	Temperature coefficient of Voc (%/deg.C)	-0.36901
Temperature coefficient of Isc (%/deg.C)	0.0871	
Model parameters	Light-generated current IL (A)	18.4817
	Diode saturation current IO (A)	8.8253e-10
	Diode ideality factor	0.56589
	Shunt resistance Rsh (ohms)	167.6862
	Series resistance Rs (ohms)	0.024521

Рисунок 4.8 – Основні характеристики модуля LP-210 для блок СП

Для того аби мати модель масив ФМ необхідно детально (як на рис. 4.8) прописати її основні характеристики. В першу чергу це стосується електричних показників, в номінальному режимі та ХХ й КЗ, по-друге теплові показники СП також тут важливі. При цьому автоматично визначаються параметри діодів в ФМ, що розташовані у правій колонці блоку. Наостанок треба вказати кількість елементів у масиві.

Моделювання передачі енергії від ФЕС до групи кінцевих навантажень (рис. 4.9) є фундаментальним для забезпечення стабільного функціонування енергосистеми. Це дозволяє провести власне детальний аналіз втрат енергії при передачі, виявити вплив різних компонентів системи та розробити заходи для їх оптимізації. Наприклад, вивчення сумарної вихідної потужності (рис. 4.10) дає можливість точно розрахувати енергетичний баланс та забезпечити ефективну інтеграцію ФЕС до загальної ЕС.

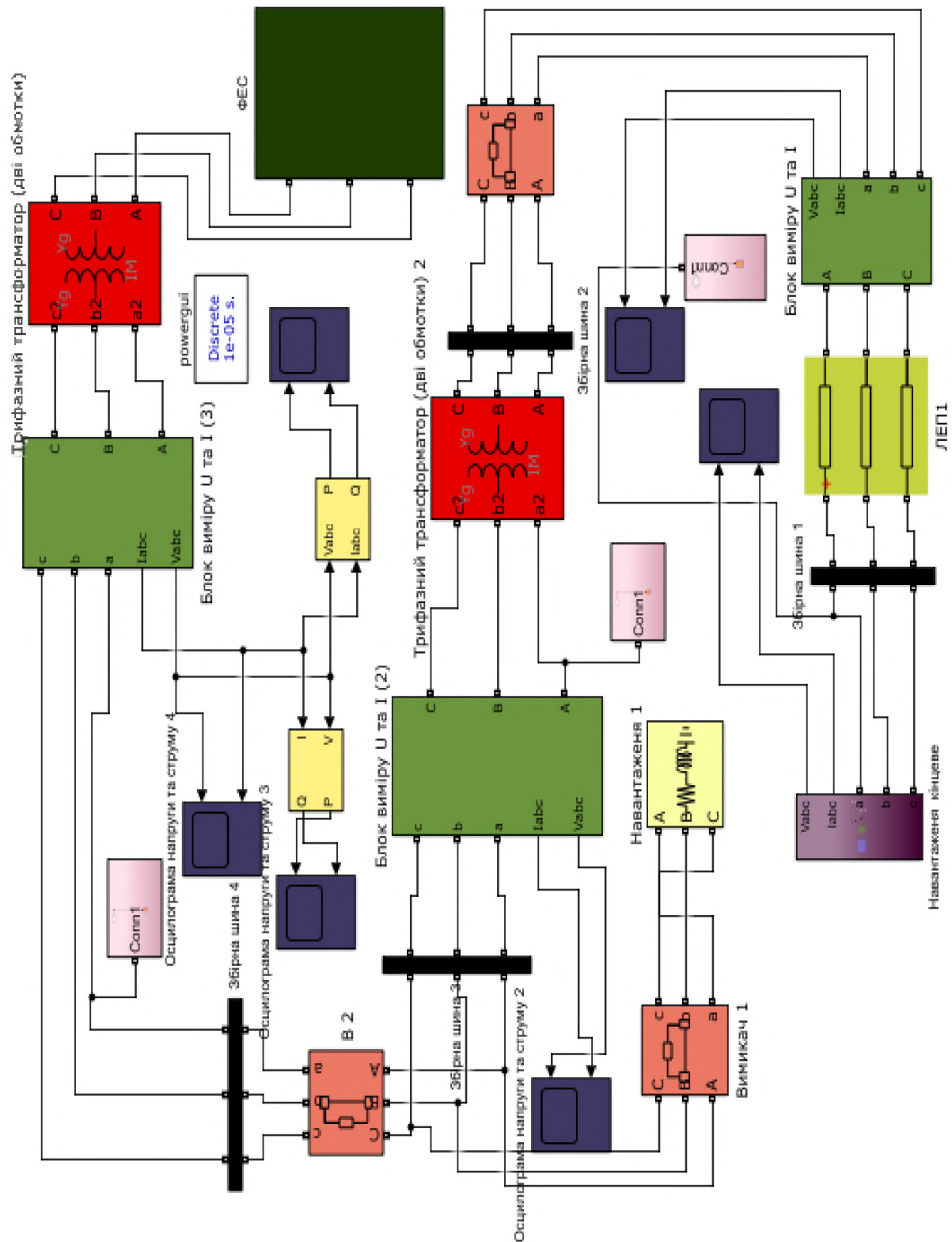


Рисунок 4.9 – Математична модель енергосистеми, передачі енергії від ФЕС до кінцевого споживача

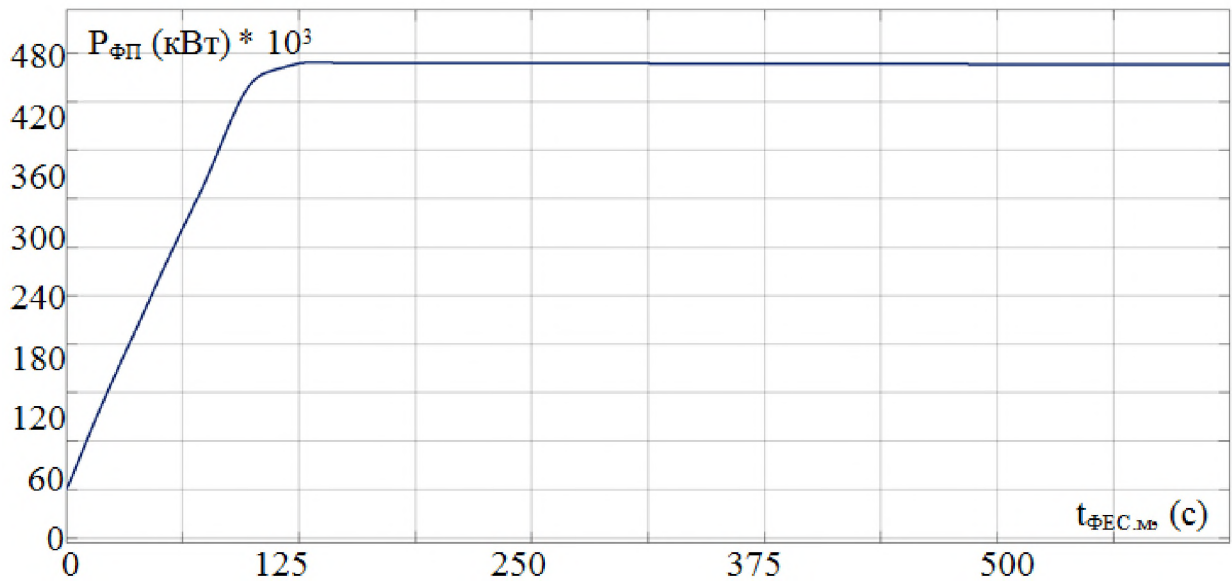


Рисунок 4.10 – Сумарна вихідна генерована потужність ФЕС

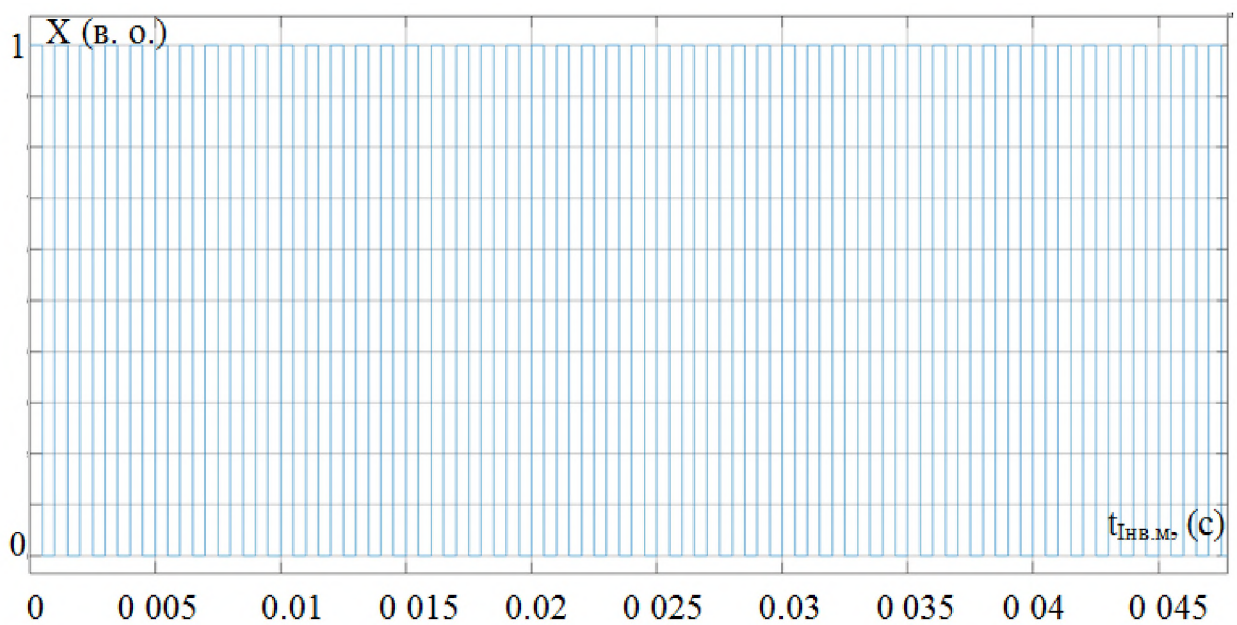


Рисунок 4.11 – Характеристики генератора імпульсів для керування інвертором

Крім того, дослідження характеристик генератора імпульсів для керування інвертором (рис. 4.11) є ключовим для забезпечення адекватного перетворення енергії. Моделювання цих параметрів дозволяє налаштувати систему для роботи в оптимальному режимі, що сприяє зниженню втрат та покращенню керованості процесів перетворення.

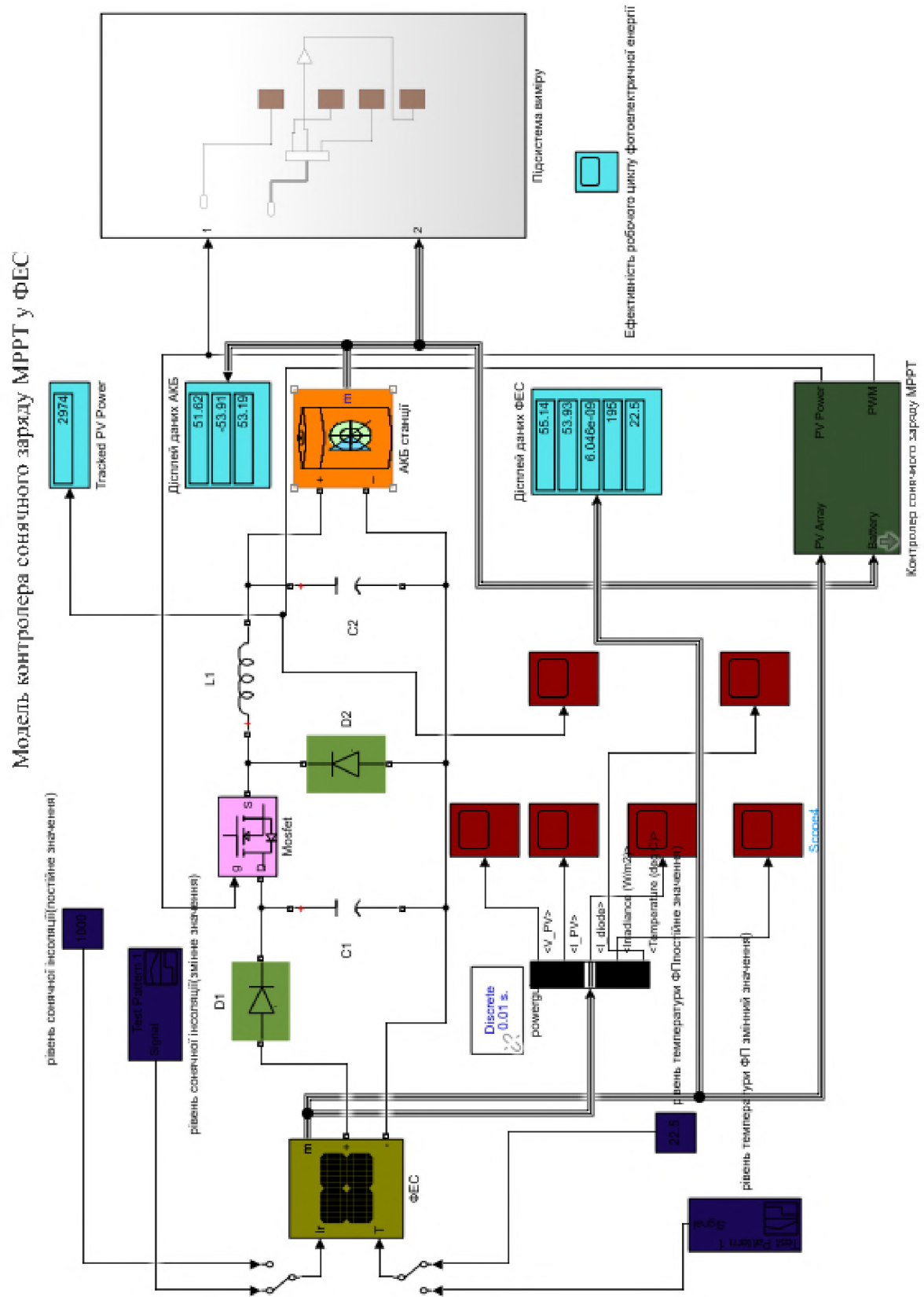


Рисунок 4.12 – Математична модель оптимізованої ФЕС із системою моніторингу та максимального відбору потужності

Математична модель оптимізованої ФЕС із системою моніторингу та відбору $S_{\max, \text{ФЕС}}$ (рис. 4.12) дозволяє інтегрувати передові технології для автоматичного контролю й управління у частині генерації енергії. В свою чергу забезпечується адаптивність системи до змінних умов, підвищуючи її загальну надійність. Зокрема, моделювання режиму заряду АКБ (рис. 4.13) й аналіз $U_{\text{ДЖ}}$ (рис. 4.14) дозволяють забезпечити безперебійне живлення групи навантаження.

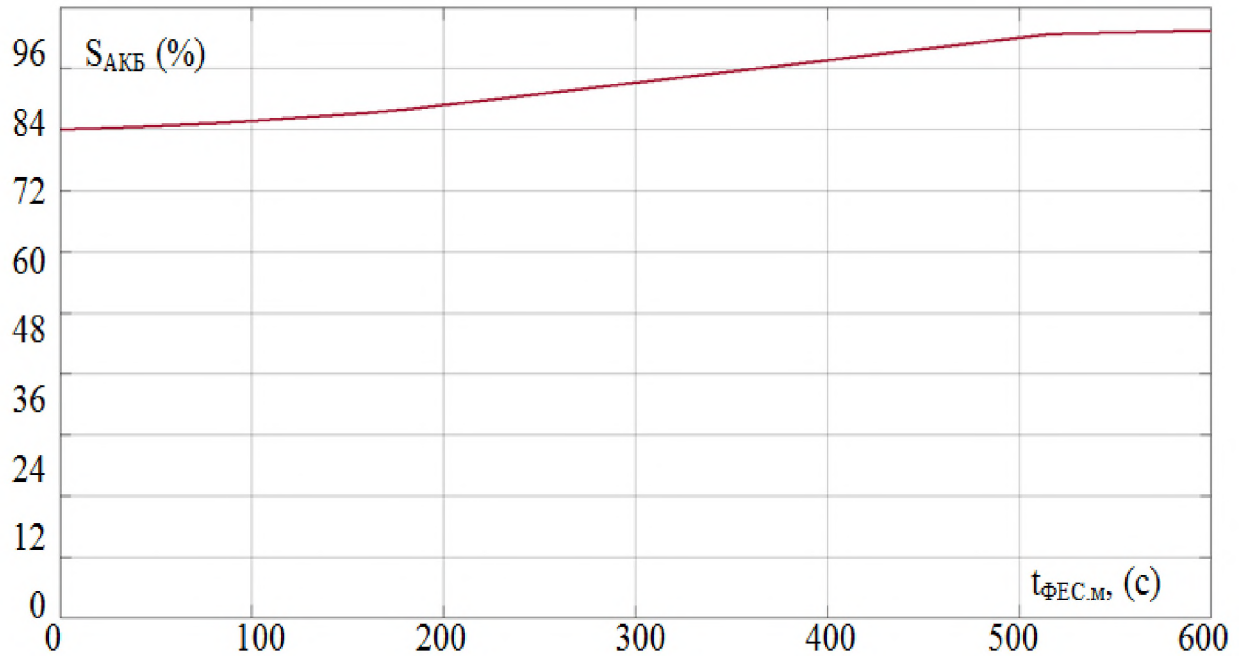


Рисунок 4.13 – Режим заряду АКБ у системі із ФЕС

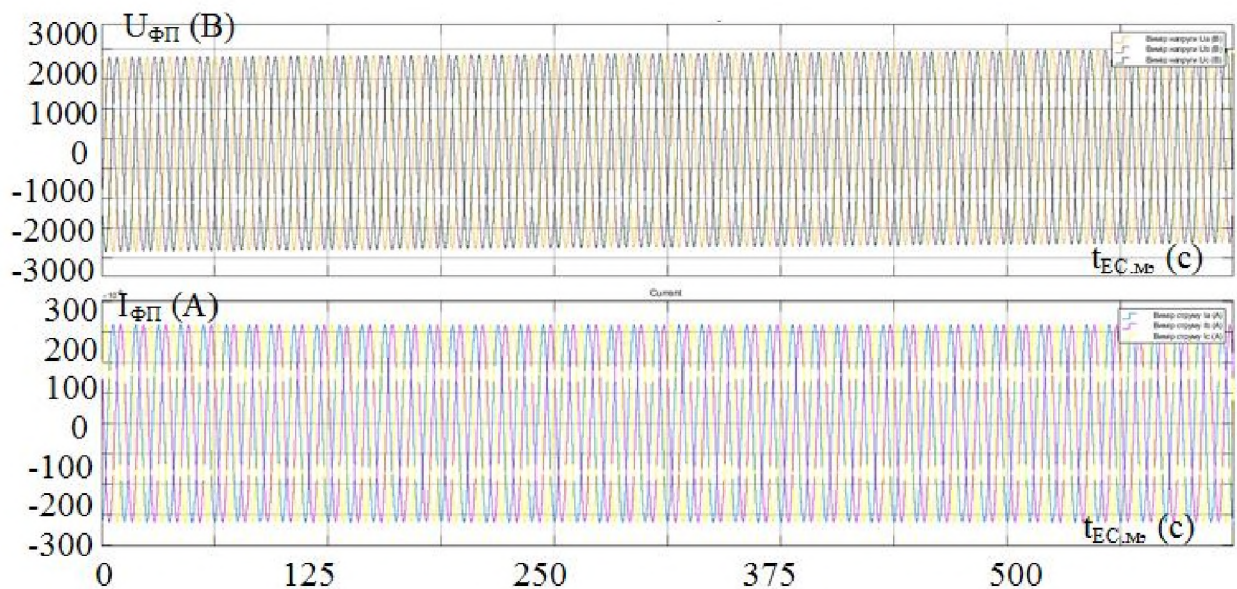


Рисунок 4.14 – Напруга біля ДЖ

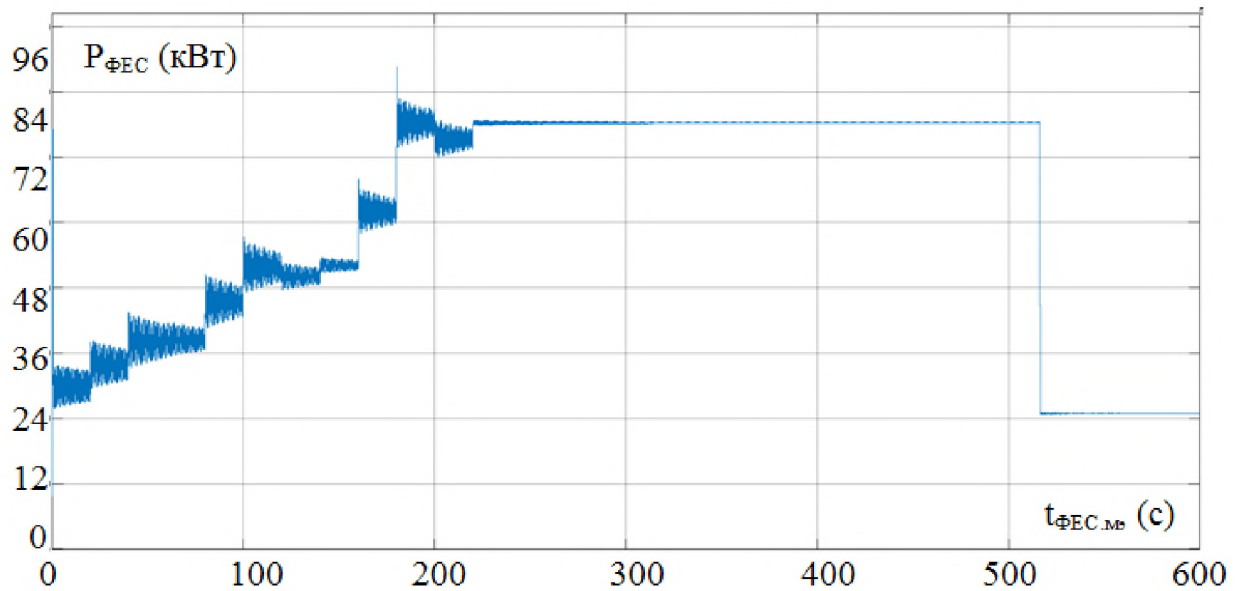


Рисунок 4.15 – Діюча генерація потужність ФЕС

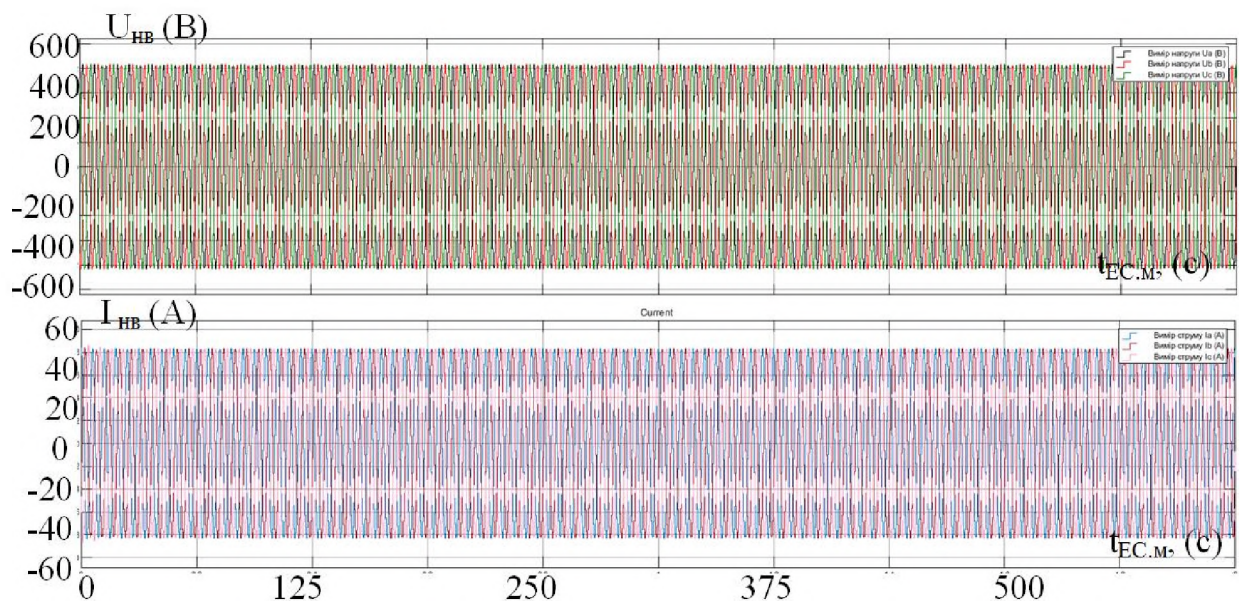


Рисунок 4.16 – Напряга в середині лінії дослідної енергосистеми

Завдяки осцилограмам й моделям, таким як робочий цикл ФЕС (рис. 4.17) та керування інвертором для перетворення енергії (рис. 4.19), можна детально аналізувати й оптимізувати кожен аспект роботи ФЕС. Це не лише призводить до поліпшення характеристик функціональних, але й дозволяє прогнозувати й запобігати можливим технічним проблемам, забезпечуючи довготривалу стабільність системи.

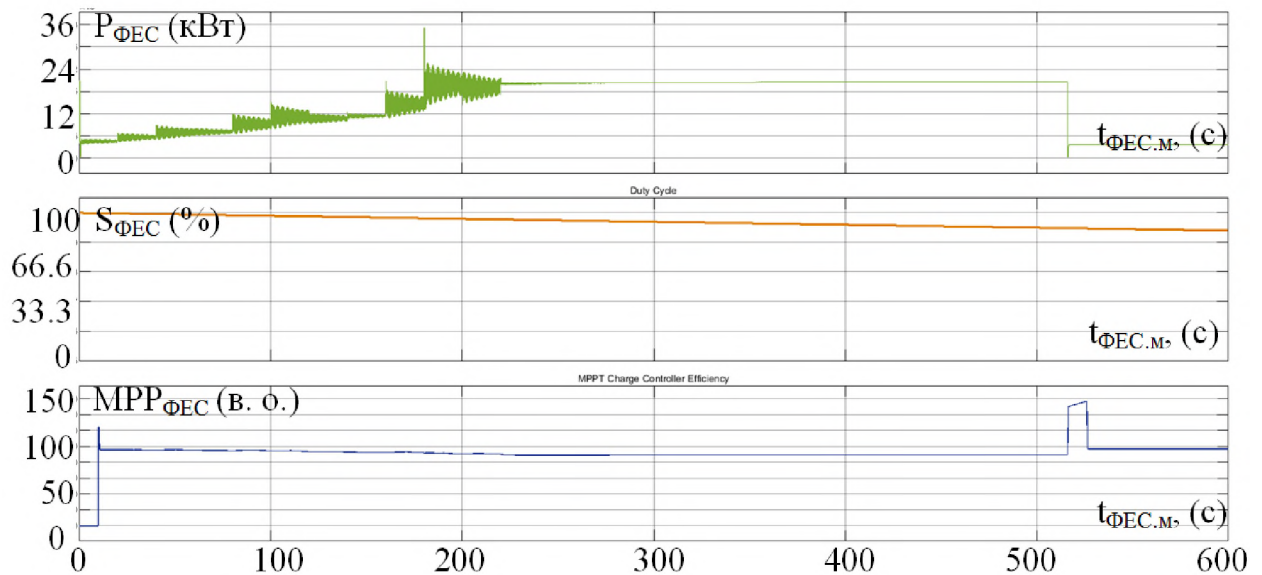


Рисунок 4.17 – Робочий цикл фотоелектричної станції

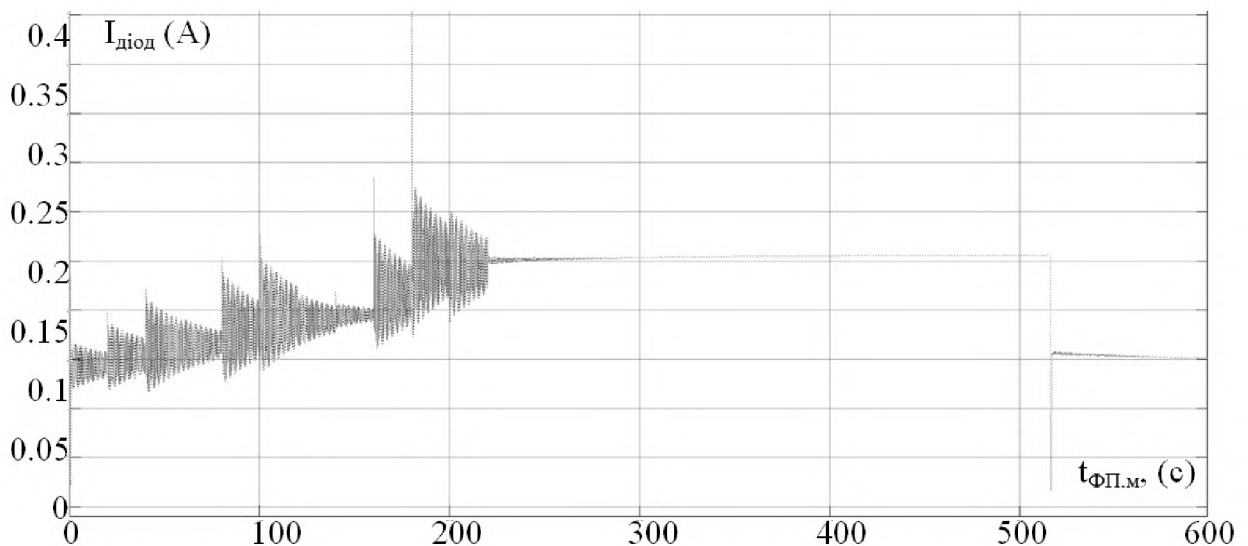


Рисунок 4.18 – Струм на обхідному діоді ФМ

Контролер заряду акумуляторів у складі ФЕС відповідає за оптимальний режим заряду, який визначається в залежності від типології підключеного АБ. Аналіз робочої характеристики ФП показує, що для досягнення максимальної ефективності необхідно правильно підібрати опір навантаження. Із цією метою ФМ не підключаються безпосередньо до навантаження, а використовуються спеціальні контролери керування ФЕС, які забезпечують оптимальні умови

роботи панелей. Зазвичай в контролерах застосовується ШІМ для забезпечення повного заряду акумулятора.

Сучасні контролери оснащені технологією стеження за ТМП, яка дозволяє ФМ працювати із максимальною ефективністю, забезпечуючи найбільший можливий $S_{\text{вихід.ФЕС}}$.

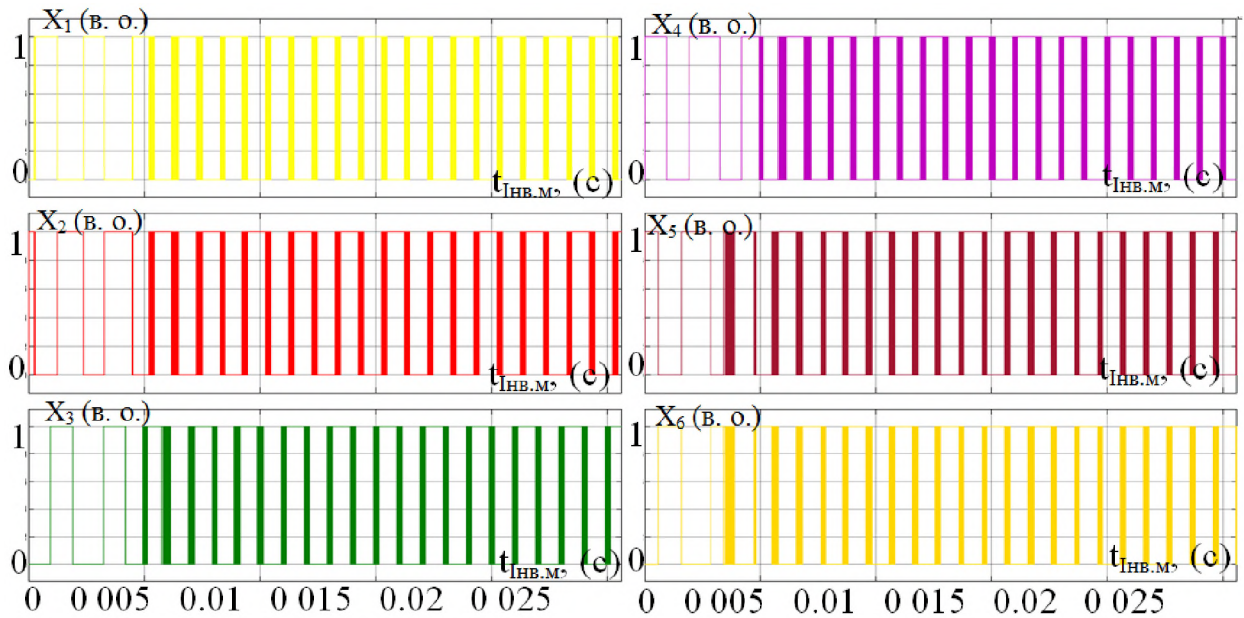


Рисунок 4.19 – Керування Інв для перетворення енергії

ВИСНОВКИ

У роботі проведено детальне дослідження проблем та можливостей модернізації електромережі розподілу підприємства через впровадження ФЕС в ролі резервного джерела енергії. Проведене дослідження має вагомий сенс в контексті сучасних вимог енергетичної галузі та потреб сталого розвитку, оскільки активне використання ВДЕ в електромережах стає все більш важливим. Особливо, для енергетики України, яка потребує збільшення об'єму в частині генерації.

Для досягнення цієї мети було виконано аналіз топології та методів керування сучасних електромереж, що дозволило визначити оптимальні методи автоматизованого управління параметрами мережі із АДЕ. Особлива увага була приділена модернізації гілок електромережі для спільної роботи зі ФЕС, для цього у програмі «Маткад» були визначені показники бажаних (необхідних) для інтеграції пристроїв. Відбувався і вибір підсистем керування для ключових елементів "розумної" системи керування.

Разом із тим, була розроблена система збору та управління головними показниками енергосистеми, що була реалізована за допомогою алгоритмів прогнозу та керування, написаного мовою Python. Для цієї задачі було деталізовано бажану топологію потрібної ШМ, і після цього відбулось її втілення у роботі.

Побудова, у практичній частині роботи, математичної моделі відбувалась через середовище «Матлаб». Окремо варто відзначити, що за завданням погодні умови для функціонування ФЕС обрано для Львівської області через застосунок «ФП системи». Аналіз проектованої електромережі, котра об'єднує ФЕС, гілку трансформації, послідовні канали передачі енергії, а також групу кінцевих навантажень підприємства, дозволив вивчити робочі режими і перехідні процеси в них.

Отримані характеристики та результати досліджень підтвердили ефективність впровадження автоматизованої підсистеми збору параметрів у

ФЕС та підвищення ефективності електропостачання підприємства в цілому. Дані дослідження є важливим кроком при проектуванні стабільної, екологічно чистої та конкурентоспроможної енергетичної системи, що відповідає вимогам сучасності та сприяє подальшому розвитку сфери використання технологій із ВДЕ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В. В. Кирик, «Електричні мережі» : підруч. для здобу ступеня бакалавра за спец. 141 / Кирик В.В.; МОН України, НТУ України "КПІ ім. І. Сікорського". – м. Київ:, р. 2024. - 279 с.
2. Р. В. Зайцев "Комбіновані фотоенергетичні системи": моног. / Р.В. Зайцев, М.В. Кіріченко, Г.С. Хрипунов, А.В. Меріуц ; МОН України, НТУ "Харківський політехнічний інститут". - м. Харків : Бровін О.В., р. 2020. - 322 с. : рис..
3. Д. С. Карпенко, «Енергетична ефективність фотоелектричної системи з водяним охолодженням» / Карпенко Д. С., Дубровська В. В., Шкляр В. І. // Енергетика: економіка, технології, екологія: науковий журнал. – р. 2016. –серія № 1(43). – с. 58-62.
4. Богомоллова О. С., «Методи і моделі оцінки потужності сонячної й вітрової генерації у вузлах електромережі» : автореферат: 05.14.02 – електричні станції, мережі та системи / О. С. Богомоллова. – м. Київ, 2021 р. - 20 с. : графіки, рис., табл..
5. Д. В. Яценко, «Динамічне керування режимами розподільних мереж із локальними джерелами енергії» : дисер. на здобуття наук. ступ. д.ф.: 141 / Яценко Д. В.; НТУ України "КПІ ім. І. Сікорського"; наук. керів. В.А. Попов. – м. Київ, р. 2023. - 200 аркушів : табл. та рис..
6. О. В. Лисенко, «Дослідження стаціонарності процесів споживання електричної енергії в електромережах» / Лисенко О. В. //Електротехн. і комп'ютер. системи. – р. 2018. – с. № 28.- с. 134-140.
7. Левченко О.Г. «Електробезпека в енергетиці» : навч. посіб. для здобувачів ступеня «бакалавра» за спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Левченко О.Г., Каштанов С.Ф., Денисюк С.П.,; вид-во НТУ України "КПІ ім. І. Сікорського".

8. В. І. Кривда «Перевірка адекватності моделювання параметрів сонячної батареї» / Кривда В. І., Майданов Д. О., Курінько Д. Д., Зубак В. В. //Електротехн. і комп'ютер. системи. – р. 2018. – серії № 28.- . с. 141-146..

ДОДАТОК А.

«Перелік зауважень нормоконтролера до дипломної роботи»

Студента ШАТАЛОВА І., групи ГЕМп – 21

Призначення документа	Документ	Умовні позначення	Зміст зауваження

Дата _____

Підпис _____

(ПІБ)

ДОДАТОК Б

«Охорона праці та правила безпечної експлуатації установки із інтелектуальними системами напругою до 1 (кВ).»

Засоби захисту, що використовують в електроустановках, повинні повністю відповідати вимогам державних стандартів, а також **ДНАОП 1.1.10-1.01-97 "Правила безпечної експлуатації електроустановок"**.

Стрибки чи перепади напруги – це різка й значна за величиною зміна вольтажу електромережі, що, на жаль, дуже типово для середньої української електромережі до 1 (кВ). Такі стрибки можуть бути тривалими із незначними змінами в мережевому вольтажі, так й короткостроковими, але суттєвими.

Причин нестабільності параметрів струму є безліч. Це й технічний стан мережі, й застаріле обладнання, проводка, й збої на лініях електропередачі, й, звичайно, пошкодження самих ліній. Тут же можна згадати перевантаження домашньої електромережі внаслідок одночасного включення кількох потужних електроприладів, перевантаження трансформаторних підстанцій внаслідок стрімкого розростання житлових кварталів й збільшення кількості споживачів, включення приладів із високими пусковими струмами, запуск агрегатів на найближчому виробництві. Дані ситуації можуть створювати певне відхилення вольтажу й коливання напруги, які надзвичайно негативно впливають на електромережі й побутову техніку, регулярно спричиняючи пошкодження підключеного електричного й електронного обладнання.

Відомо, що будь-який електрозалежний пристрій призначений для роботи за певних параметрів й характеристик струму. Й найчастіше розраховано на роботу від мережі напругою 220-230 В. Під час цього реальна напруга в мережі часто коливається в межах від 140 до 290 В й це, звичайно, може призвести як до порушень роботи електроприладів, так й до повного їх виходу із ладу.

Сучасні побутові прилади мають певний резерв приблизно в $\pm 5-10\%$ від номінальної напруги, тому можуть працювати за показниками до 250 В. Однак слід пам'ятати, що експлуатація побутової техніки в період активних стрибків напруги призводить до зменшення її ресурсу й скорочення терміну служби.

Слід також відзначити, що сучасні прилади стали більш цифровими, оснащеними більш тонкими й дрібнішими компонентами й, як наслідок, чутливішими до коливань напруги. Найбільше від його перепадів страждає техніка із великою кількістю електроніки – холодильники, електроплити, пральні й посудомийні машини із сенсорним керуванням, телевізори, комп'ютери, блоки живлення ноутбуків, мікросхеми пам'яті, графічні процесори тощо. Зазначені прилади стабільно працюють тільки тоді, коли отримують стабільний струм у потрібному діапазоні напруг, інакше виникають проблеми у мікросхемах й полумках.

Стрибки напруги можуть нагрівати компоненти й драти електронних приладів й викликати їх перегорання. Але навіть якщо коливання напруги не порушує роботу електроніки, вони можуть призвести до надмірного навантаження її внутрішніх компонентів й викликати їх вихід із ладу раніше, ніж очікувалося.

Найчастіше техніка ламається в момент, коли включається струм, адже часто подається напруга не потрібних 220 В, а 270, 290 (В) й навіть більше. У разі існує великий ризик пожежі, особливо у старих будинках, де електромережа перебуває у аварійному стані.

Страждають електроприлади й під час раптового відключенні електропостачання, особливо якщо в цей час у приладі виконувався якийсь процес.

Небезпечні й низькі показники напруги. Здавалося б, у такій ситуації прилади просто не ввімкнуться й не працюватимуть, але насправді така ситуація вкрай небезпечна, особливо коли йдеться про захисну автоматику. Адже ми розраховуємо на її захист, а вона, виявляється, у потрібний момент не працює. Це може призвести до серйозних пошкоджень й неефективної роботи

обладнання, знизити ефективність роботи великих двигунів, світильників, насосів або машин, які використовують компресори. Крім того, падіння напруги створює тепло, яке може накопичуватися в проводах або кабелях й пошкоджувати ізоляцію, що зрештою призводить до проблем безпеки й пожеж.

Таким чином, впевнено можна сказати, що термін служби електроніки й побутової техніки залежить не тільки від марки виробника, а і від якості електроживлення в мережі. Будь-які відключення, підвищення або зниження напруги в мережі, аварії, різкі стрибки, обрив ліній електропередач, все це може стати причиною не тільки поломок техніки й скоротити термін її служби, а і повністю вивести із ладу прилади й електроніку, що знаходяться в режимі очікування.

Певними маркерами проблем із напругою можуть бути порушення в роботі електроприладів й освітлення. Лампи можуть мерехтіти, часто перегоряти або давати тьмяне світло, таймери не спрацьовувати, трансформатори гудіти. Однак далеко не завжди необізаному споживачеві вдається помітити наявні проблеми із напругою. Найімовірніше, розуміння того, що стався стрибок напруги, прийде лише в момент, коли пристрій

Мінімальний захист від незначних перепадів напруги забезпечить мережевий фільтр. Він згладжує стрибки напруги в електричній мережі й у разі його перепадів здатний відключати підключені пристрої. Але, по суті, мережевий фільтр є лише запобіжником, який також згоряє у разі різкого стрибка напруги. За зниженої напруги він взагалі не спрацює й не забезпечить жодного захисту. Мережевий фільтр не захистить від перенапруг у старому будинку із незаземленими розетками й блискавкою. Також він не призначений для підключення потужних приладів, таких як кондиціонери або обігрівачі, оскільки вони можуть легко перегріти мережевий фільтр й стати причиною займання.

Реле контролю напруги.

Коливання напруги й способи захисту Ще один простий й недорогий прилад захисту – це реле контролю напруги або відсікач напруги. Воно захищає як від підвищеної напруги, так й від низького струму. Реле фіксує перепад

напруги й відключає підключені до нього прилади. А після включення струму вимірює напругу, витримує паузу й пускає струм лише тоді, коли напруга стабілізується.

Коридор допустимої напруги споживач встановлює сам й може легко регулювати його. Крім встановлення величини мінімального й максимального вольтажу, сучасний пристрій повинен також давати можливість самостійно встановити час спрацьовування розчіплювача під час виявленні певного відхилення від нормального діапазону. Крім того, в сучасних реле відомих виробників може бути передбачена функція стабілізації, хоча такий пристрій коштуватиме дорожче.



Рисунок Б.1 – Реле контролю напруги

Коливання напруги й способи захисту. Реле напруги може бути представлене у вигляді блоку захисту, що монтується в електрощиток, у вигляді корпусу із вилкою, що підключається до розетки й у вигляді подовжувача із гніздами для розеток, подовжувальним шнуром й датчиком рівня напруги в мережі. Перший варіант – найбільш функціональний, оскільки реле, встановлене у щиток, захищає не поодинокі елементи, а всю квартиру загалом. А у двох останніх варіантах реле просто вставляється в розетку, а вже в нього підключається вилка шнура від тієї чи іншої електроніки. Підключати реле можна в різні розетки, в тому числі без заземлення.

Вибираючи реле напруги, слід віддати перевагу моделям із дисплеєм, що відображає поточну напругу в мережі й дозволяє контролювати її не тільки пристрою, але і вам.

Реле контролю напруги найбільше підходить для техніки потужністю до 2,2 кВт, а для потужніших приладів бажано використовувати сильніші засоби захисту.

Джерело безперебійного живлення.

Коливання напруги й засоби захисту Комп'ютери й чутливу електронну апаратуру можна захистити за допомогою джерел безперебійного живлення (ДБЖ) або як їх називають в іноземній літературі UPS. Ці пристрої стабілізують напругу й мають вбудований акумулятор, що накопичує електроенергію й за відсутності струму здатні автономно подавати необхідну електричну напругу підключеному приладу протягом певного часу.



Рисунок Б.2 – Джерело безперебійного живлення.

Однак слід пам'ятати, що джерело безперебійного живлення не можна залишати без нагляду, адже його акумулятори можуть самозайматися. Крім того, ДБЖ спрацьовують лише під час зниженні напруги в мережі, але не захищають техніку від її підвищених показників.



Рисунок Б.3 – Структурна схема мережі безперебійного живлення

Стабілізатор напруги.

Коливання напруги й способи захисту Одним із найбільш ефективних засобів захисту є електронний стабілізатор напруги. Це прилад, призначений для підтримки напруги на певному рівні, що постійно контролює вхідне джерело живлення й коригує його рівень, забезпечуючи підключеним до нього приладів, коректний струм для їхньої оптимальної роботи.

Стабілізатор працює в ширших межах ніж реле й захищає обладнання від нестабільної подачі електроенергії, перепадів напруги, високочастотних перешкод, високовольтних імпульсів й збоїв у мережі. Забезпечує захист як побутового, так й високочутливого серверного й лабораторного обладнання. Й може використовуватися у побутових й промислових мережах.

Стабілізатор напруги здатний ефективно захистити побутову техніку від короткого замикання в мережі, провалів напруги, що виникають на короткий час у момент пуску електрообладнання із великим пусковим струмом й підвищених

показників струму в електромережі. Під час цього відключення приладів під час стрибків напруги не відбувається.



Рисунок Б.4 – Стабілізатор напруги

Побутова техніка, підключена через стабілізатор напруги, працює у делікатному режимі електроживлення зі стабілізованою вхідною напругою, що дозволяє значно продовжити її експлуатаційний ресурс й забезпечити оптимальний режим роботи. Стабілізатори можна встановлювати не тільки на всю домашню електромережу, але і на її окремі контури або ділянки.

Під час цього слід пам'ятати, що стабілізатор – це також електричний пристрій, що має допустимі межі роботи й вимагає захисту від надмірних перепадів за допомогою реле напруги.

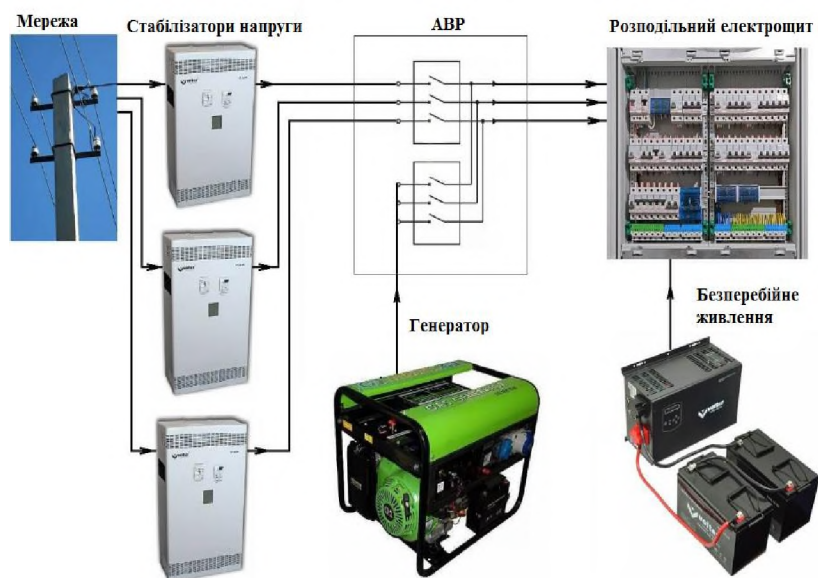


Рисунок Б.5 – Структурна схема мережі із стабілізаторами напруги

Апарати захисту за своєю відключаючою здатністю повинні відповідати максимальному значенню струму КЗ на початку ділянки електричної мережі, що захищається.

Допускається встановлення апаратів захисту, нестійких до максимальних значень струму КЗ, а також обраних за значенням одноразової граничної комутаційної здатності, якщо груповий апарат, що їх захищає, або найближчий апарат, розташований у напрямку до джерела живлення, забезпечує миттєве відключення струму КЗ, для чого необхідно, щоб струм уставки миттєво діючого розчеплювача (відсічки) зазначених апаратів був меншим за струм одноразової комутаційної здатності кожного із групи нестійких апаратів, й якщо таке неселективне відключення всієї групи апаратів не загрожує аварією, псуванням дорогого обладнання й матеріалів або розладом складного технологічного процесу.

Номінальні струми плавких вставок запобіжників й струми уставок автоматичних вимикачів, що служать для захисту окремих ділянок мережі, у всіх випадках слід вибирати по можливості найменшими за розрахунковими струмами цих ділянок або номінальними струмами електроприймачів, але таким чином, щоб апарати захисту не відключали електроустановки під час короточасних перевантажень (пускові струми, піки технологічних навантажень, струми під час самозапуску тощо).

В якості апаратів захисту повинні застосовуватись автоматичні вимикачі або запобіжники. Для забезпечення вимог швидкодії, чутливості чи селективності допускається за необхідності застосування пристроїв захисту із використанням виносних реле (реле непрямої дії).

Автоматичні вимикачі й запобіжники пробкового типу повинні приєднуватися до мережі так, щоб під час винтованій пробці запобіжника (автоматичного вимикача) гвинтова гільза запобіжника (автоматичного вимикача) залишалася без напруги. Під час односторонньому живленні

приєднання живильного провідника (кабелю або дроту) до апарату захисту повинно виконуватися, як правило, до нерухомих контактів.

Мережі всередині приміщень, виконані відкрито прокладеними провідниками із зовнішньою горючою оболонкою або ізоляцією, повинні бути захищені від перевантаження.

Крім того, повинні бути захищені від перевантаження мережі всередині приміщень:

- освітлювальні мережі у житлових й громадських будівлях, у торгових приміщеннях, службово-побутових приміщеннях промислових підприємств, включаючи мережі для побутових й переносних електроприймачів (прасок, чайників, плиток, кімнатних холодильників, пирососів, пральних й швейних машин тощо); також у пожежонебезпечних зонах;

- силові мережі на промислових підприємствах, у житлових й громадських будинках, торгових приміщеннях - лише у випадках, коли за умовами технологічного процесу або за режимом роботи мережі може виникати тривале навантаження провідників;

Як можна побачити із аналізу, захистити свою техніку й мережу можна різними способами, й їх вибір залежать від існуючих умов й ризиків.

ДОДАТОК В

«Схема налаштування інвертору»

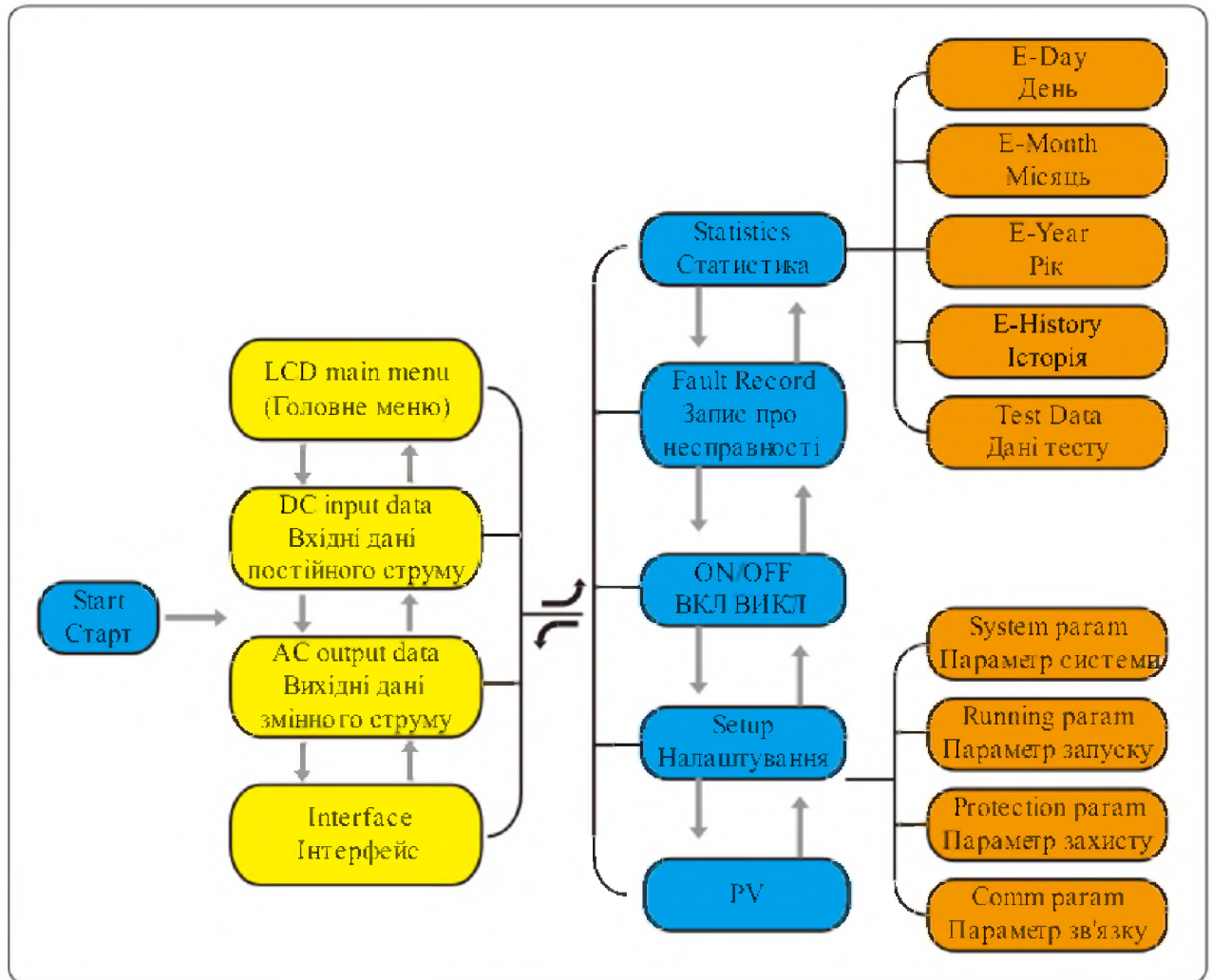


Рисунок В.1 – Блок-схема роботи РК-дисплея інвертору

Для оптимізації системи рекомендується, щоб обидва входи були підключені до однакової кількості фотоелектричних модулів.

1. Максимальна напруга кожного набору фотоелектричних модулів не повинна перевищувати 1000 В постійного струму за жодних умов.

2. На кожному вході інвертора бажано використовувати один і той самий тип фотомодуля, з'єднаний послідовно.

3. Загальна вихідна потужність фотоелектричних модулів не повинна перевищувати максимальну вхідну потужність інвертора, а кожен

фотоелектричний модуль не повинен перевищувати номінальну потужність кожного каналу.

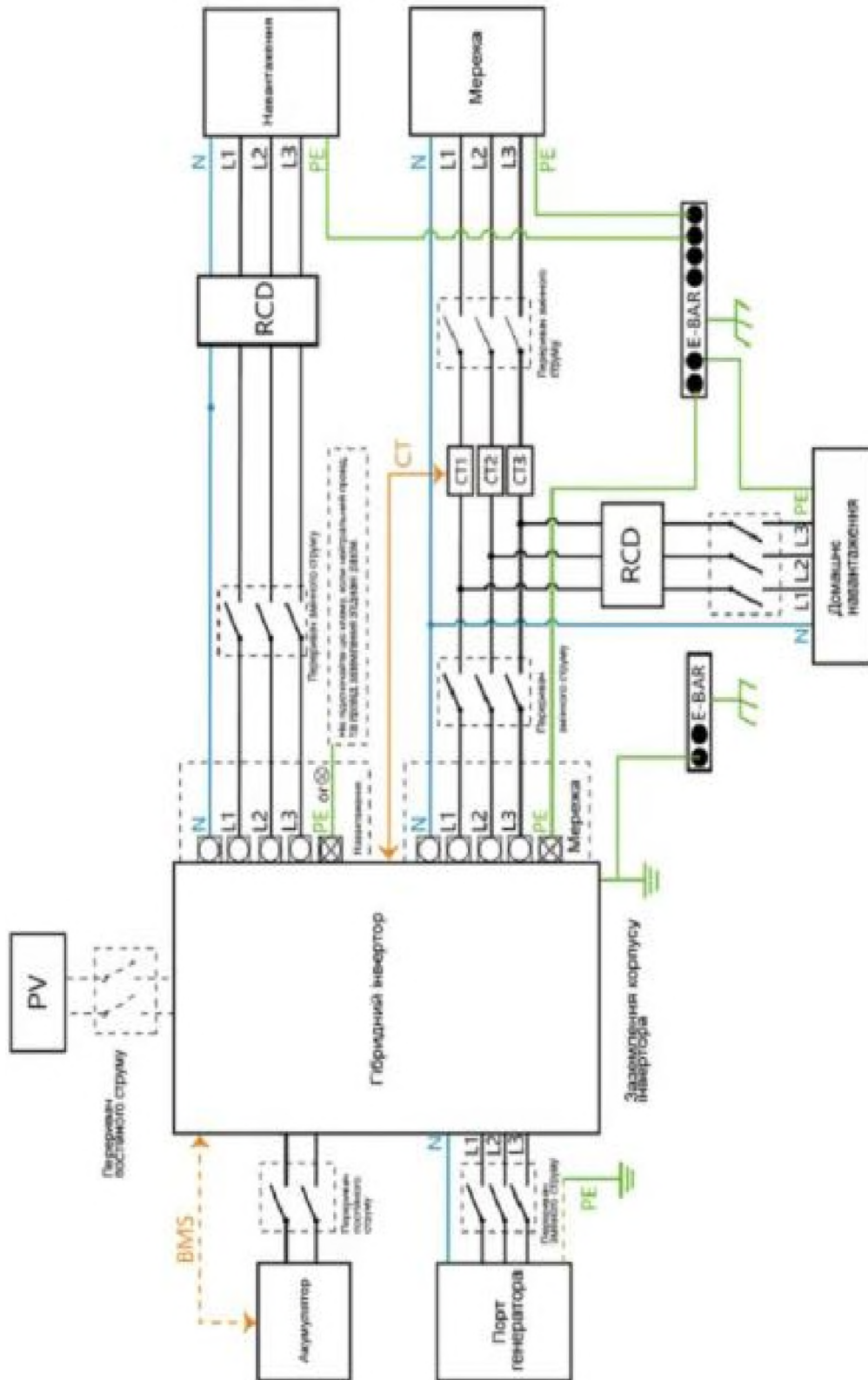


Рисунок В.2 – Підключення інвертору до ФЕС