

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри

Ігор ЧИЧУРА

«__» _____ 2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему:

АВТОМАТИЗАЦІЯ АВТОНОМНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Виконав:

Костянтин СОРОКІН

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Керівник:

доцент Віктор ОВЧАРЕНКО

(вчене звання, ім'я та прізвище)

(підпис)

Ужгород – 2024

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної магістрської роботи: 71 сторінка, 12 таблиць, 12 рисунків, 13 джерел посилань.

СОНЯЧНА ЕНЕРЕТИКА, АВТОНОМНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

Об'єкт дослідження – повністю автономна автоматична сонячна електростанція із сучасною електронною системою керування на основі «розумних» інформаційних енергетичних модулів розподілу та обліку електричної енергії.

Мета роботи – спроектувати систему автоматичного керування автономними сонячними електростанціями малої потужності для домогосподарств або невеликих комерційних об'єктів.

Методи дослідження – теоретичний технічний та економічний аналіз процесів функціонування сучасних сонячних енергетичних станцій та їхніх окремих модулів; розробка конструкторських та інформаційних документів на систему автоматичного керування автономними сонячними електростанціями малої потужності; проектування схем та діаграм енергетичних й інформаційних потоків автономної сонячної електростанції.

Проведено технічний аналіз електричних параметрів основних споживачів електроенергії окремого невеликого домогосподарства та розраховано його середній сумарний об'єм споживання електричної енергії. На основі отриманих результатів теоретичного аналізу проведено проектування системи керування автономної сонячної електростанції з піковою потужністю до 10 кВт. Підібрано сучасні енергетичні та інформаційні модулі для системи керування. Розроблено структурну й монтажну схеми автономної сонячної електростанції, а також діаграми її інформаційних й енергетичних потоків.

ABSTRACT

The master's thesis contains: 71 pages, 12 tables, 12 figures, 13 reference sources.

SOLAR ENERGY, AUTONOMOUS POWER STATION, CONTROL OF ELECTRICAL SYSTEMS

The object of the study is a fully autonomous automatic solar power plant with a modern electronic control system based on "smart" informational energy modules for the distribution and accounting of electric energy.

The purpose of the work is to design an automatic control system for autonomous low-power solar power plants for households or small commercial facilities.

Research methods – theoretical technical and economic analysis of the functioning processes of modern solar power stations and their individual modules; development of design and information documents for the automatic control system of autonomous low-power solar power plants; designing schemes and diagrams of energy and information flows of an autonomous solar power plant.

A technical analysis of the electrical parameters of the main consumers of electricity of a separate small household was carried out and its average total volume of electricity consumption was calculated. Based on the obtained results of the theoretical analysis, the design of the control system of an autonomous solar power plant with a peak power of up to 10 kW was carried out. Modern energy and information modules for the control system have been selected. Structural and assembly diagrams of an autonomous solar power plant, as well as diagrams of its information and energy flows, have been developed.

Ужгородський національний університет

Інженерно-технічний факультет

Кафедра приладобудування

Освітньо-кваліфікаційний рівень "магістр"

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

к.ф.-м.н., доцент Ігор ЧИЧУРА

" " _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Сорокіну Костянтину Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Автоматизація автономних сонячних електростанцій»

та керівник роботи Овчаренко Віктор Вікторович, к.т.н., доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені Розпорядженням № 16 по ІТФ від "12" травня 2024 року.

2. Термін подання студентом роботи на кафедру: "05" грудня 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи: об'єктом розробки є система автоматичного керування автономними сонячними електростанціями загальною піковою потужністю до 10 кВт.

Умови експлуатації пристрою:

- температура навколишнього середовища: від -30°C до $+60^{\circ}\text{C}$;
- атмосферний тиск: від 720 до 780 мм.рт.ст.;
- відносна вологість повітря: до 95 %;
- електроживлення: акумуляторна батарея у складі електростанції;
- габарити і маса: мінімально можливі.

Характеристики пристрою:

- ввід базових параметрів керування: вручну при початковій інсталяції пристрою;
- режим керування: неперервний під час світлового дня та дискретний протягом доби;
- частота контролю параметрів виробленої електричної енергії протягом світлового дня: програмується, але не менше 1 Гц;
- формат вихідних інформаційних сигналів: ліній цифрового послідовного коду;
- максимальна потужність споживаної електричної енергії: до 10 Квт;
- відображення режимів роботи пристроїв станції: за допомогою дисплею;
- формування бази даних: на флеш-пам'яті;
- сигналізація про нештатні ситуації: передбачити підключення захищеного Wi-Fi каналу передачі даних в мережу інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Аналіз проблем сучасної сонячної енергетики; огляд сучасних типів сонячних електростанцій; аналіз особливостей автономних сонячних електростанцій та сучасних підходів до їх проектування; принципи автоматизації функціонування автономних сонячних електростанцій; розробка структурної, монтажної та інших необхідних схем електростанції; розрахунок параметрів модулів електростанції; підбір енергетичних та інформаційних модулів.

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

- структурна або функціональна схема пристрою (1 аркуш А2);
- аналіз споживання електроенергії окремим домогосподарством (1 аркуш А2);
- обґрунтування технічних параметрів електростанції (1 аркуш А2);
- монтажна схема станції (1 аркуш А2);
- схема енергетичних потоків (1 аркуш А2);
- схема інформаційних потоків (1 аркуш А2).

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Алгоритм роботи промислового контролера	Роман МЕШКО, ст. викладач кафедри		

7. Дата видачі завдання: 15 жовтня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз проблем сучасної сонячної енергетики.	30.10.2024	
2	Огляд сучасних наукових підходів до проектування автономних сонячних електростанцій.	10.11.2024	
3	Аналіз завдання та розробка структурної схеми станції.	10.11.2024	
4	Розрахунок конструкції електростанції.	20.11.2024	
5	Підбір елементів та виготовлення креслень основних вузлів станції.	20.11.2024	
6	Розробка схем станції.	30.11.2024	
7	Написання пояснювальної записки.	30.11.2024	
8	Оформлення роботи та креслень.	05.12.2024	

Студент

_____ / _____ /
(підпис)

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи

_____ / _____ /
(підпис)

(ініціали та прізвище)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ОСОБЛИВОСТІ АВТОНОМНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ.....	11
1.1 Актуальність встановлення автономних сонячних електростанцій для домогосподарств та їх особливості.....	11
1.2 Генеруючі компоненти сонячних електростанцій.....	13
1.3 Сонячні електростанції.....	17
2 ОЦІНКА МІНІМАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОДОБОВОЇ ГЕНЕРОВАНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СТАНДАРТНОЮ ПАНЕЛЛЮ В УМОВАХ МІСТА УЖГОРОДА.....	23
3 АНАЛІЗ СЕРЕДНЬОДОБОВИХ ВИТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТИПОВИМ ДОМОГОСПОДАРСТВОМ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ.....	27
4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	30
5 ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРИ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	33
5.1 Сонячні панелі.....	33
5.2 Аналіз вибору акумуляторної батареї.....	37
5.3 Контролер заряду акумуляторної батареї.....	39
5.4 Інверторний модуль контролер-інверторів серії Conext SW.....	43
5.5 Комутаційні елементи сонячної електростанції.....	44
6 РОЗРОБКА СХЕМ ПРОЕКТОВАНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	46
6.1 Аналіз схеми енергетичних потоків.....	46
6.2 Аналіз схеми інформаційних потоків та вибір компонент системи керування.....	49

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ		
		Прізвище ім'я	Підпис	Дата			
Розробив	Сорокін К.О.				Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Овчаренко В.В.				у	6	63
Т. контроль					ІТФ, кафедра ПБ, 2 курс магістри денна форма		
Н. контроль							
Затвердив	Чичура І.І.						

6.3 Проектування монтажно́ї схеми автономної електростанції та розрахунок її орієнтованої вартості.....	56
ВИСНОВКИ.....	58
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	60
ДОДАТОК А СТРУКТУРНА СХЕМА АВТОМАТИЧНОЇ АВТОНОМНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	62
ДОДАТОК Б СХЕМА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ АВТОНОМНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	63
ДОДАТОК В МОНТАЖНА СХЕМА АВТОНОМНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	64

АКТИВ 2024

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк. 7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

САК – система автоматичного керування

СЕС – сонячна електростанція

СП – сонячна панель

ТМП-контролери – або контролери із слідкуванням за точкою максимальної потужності (MPPT-controllers – Maximum power point tracker)

ФЕП – фотоелектричний перетворювач

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція (PWM – pulse-width modulation)

$I_{кз}$ – струм короткого замикання СП

P – проектна потужність СП

P_m – електрична потужність на клеммах СП в точці максимальної потужності

P_s – падаюча на поверхню СП потужність сонячного випромінювання

$U_{хх}$ – напруга холостого ходу СП

W – середньоденна генерована електроенергія однією СП в зимній період

η – ККД сонячної панелі

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

Природні викопні енергетичні ресурси всього людства в наш час нестримно вичерпуються, а екологічні світові проблеми, пов'язані з використанням традиційних видів палива стають все гострішими. У першу чергу сюди слід віднести парниковий ефект та глобальне потепління на нашій планеті. Тому постійно росте актуальність завдань усестороннього пошуку і оптимального використання нових відновних джерел енергії. На сьогодні сонячній енергетиці відводиться дуже важлива роль у розв'язанні відмічених вище проблем. Це підтверджується різким ростом кількості сонячних електростанцій різної потужності на Україні й у всьому світі.

Енергетичний потенціал сонячної енергетики по всій земній кулі надзвичайно високий. Сумарна потужність оптичного випромінювання Сонця величезна. Земля ж, яка знаходиться на віддалі біля 150 млн. км від нашого світила, одержує приблизно 2 мільярдні частки його випромінювання. Не дивлячись на це, середня по планеті кількість сонячної енергії, яка надходить в атмосферу Землі, складає біля $1,5 \text{ кВт/м}^2$. Такий енергетичний потенціал Сонця можна проілюструвати тим фактом, що за кожні 15 хвилин з сонячним випромінюванням надходить на земну кулю така енергія, якої вистачило б всьому людству на цілий рік;

Тому закономірним є прискорення темпів розвитку сонячної енергетики як на Україні, так і у світі. Звичайно, що цьому сприяють й економічні фактори. Зокрема, вартість встановлення сучасних сонячних електростанцій (СЕС) щороку суттєво зменшується завдяки удосконаленню різних технологій виробництва фотоелектричних елементів і сонячних панелей (СП), збільшенню їх пікової потужності та добового коефіцієнту корисної дії. Ці фактори зумовлюють щорічне поступове зменшення собівартості 1 кВт виробленої сонячної електричної енергії. Розвитку СЕС в Україні та в інших країнах світу на сьогодні економічно сприяє й «зелений» тариф. Наприклад, на Україні він є одним із найвищих.

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ

Арк.

9

Ми ставили основним завданням магістерської роботи проаналізувати можливості повної автоматизації сучасних сонячних електростанцій та спроектувати систему автоматичного контролю для такої низько бюджетної станції. При цьому основна увага приділялася автономним енергетичним системам для окремого домогосподарства, побудованих із сучасних доступних і високонадійних матеріалів й комплектуючих модулів. На нашу думку, повна автоматизація процесу функціонування сонячних електростанцій здатна забезпечити не лише максимальне використання сонячного енергетичного потенціалу. Одночасно тут досягається й оптимальне повернення вкладеного технічного ресурсу та продовжується термін експлуатації різних робочих модулів. Крім того, значно підвищується й рівень сервісу при монтажі, експлуатації і технічному обслуговуванні автоматичних електроенергетичних систем. Окреслений комплексний підхід до розв'язання поставленої в роботі задачі підкреслює високу актуальність та економічну значимість досліджень за вибраною темою.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1 АВТОНОМНІ СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ТА ПРИНЦИПИ ЇХ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Переваги встановлення сучасних автономних сонячних електростанцій

Розглядаючи сучасні різні ресурсозберігаючі варіанти забезпечення житла автономною електроенергією, варто особливу увагу приділити СЕС невеликої потужності до 10 кВт. Дані системи на сьогодні вже підтвердили свою високу надійність та довговічність, працюючи десятками років на космічних станціях та в різних наземних енергосистемах багатьох країн світу. Крім того, сучасна автономна СЕС здатна забезпечити окреме домогосподарство незалежним постійним електропостачанням. Це особливо актуально в тих умовах, коли місцеві трансформаторні підстанції загальної електричної мережі не підтримують в ній необхідний рівень напруги, потужності чи частоти, наприклад, на дачах, на відпочинку чи у віддалених місцях. Автономні сонячні електростанції здатні також працювати як основне джерело енергії у віддалених від стаціонарних електричних мереж різних виробничих та комерційних об'єктах, наприклад готелі, бази відпочинку та інше.

Відмітимо позитивні особливості спорудження та експлуатації автоматичних автономних сонячних електростанцій:

- тривалий неперервний термін роботи, який на сьогодні у середньому вважається рівним не менше 25 років;
- наявність гарантійного обслуговування від фірм виробників базових компонентів більше 2-х років;
- можливість доступного страхування обладнання СЕС;
- автоматична електростанція вимагає мінімального технічного обслуговування;

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- при необхідності є можливість простого нарощування потужності електростанції;
- легкий перехід до гібридної комерційно-автономної форми організації електростанції, що дозволяє отримувати компенсацію за «зеленим тарифом» до 2030 року;
- можливість розрахунків за електроенергію, яка продається за текучим "зеленим тарифом", до курсу євро;
- відносно невеликий термін повної окупності електростанції (до 10 років);
- екологічна безпечність при експлуатації;
- безшумність роботи;
- повна автономність функціонування;
- безперебійність електричного живлення споживачів при правильному технічному проектуванні електростанції;
- суттєва економія фінансових коштів в економічних умовах постійного зростання тарифів на енергоносії.

Однак, при розгляді питань автоматизації сонячних електростанцій слід мати на увазі, що крім позитивних якостей такі системи мають і ряд недоліків. До найбільш суттєвих із них можна віднести:

- відносно високу вартість встановлення;
- значну добову та сезонну нерівномірність генерації електроенергії;
- необхідність відносно великих площ земельних ділянок для наземного розміщення;
- суттєва вибагливість до географічного місця встановлення та до параметрів навколишнього середовища;
- виробництво базових компонент сонячних електростанцій та їх утилізація чинять значний екологічний вплив.

Слід також відмітити, що у цілому, на сьогодні автономні сонячні електростанції не підтримують стабільну паралельну роботу зі стандартною електричною мережею змінного струму в умовах частих відключень останньої. Але вони легко комбінуються в єдину незалежні енергетичну систему з

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

дизельними генераторами, вітроагрегатами, міні гідроелектростанціями та іншими типами електрогенеруючих установок.

1.2 Базові генеруючі елементи сонячних електростанцій при їх автоматизації

При розгляді питань автоматизації сонячних електростанцій слід приймати до уваги структуру та базові принципи функціонування їхніх генеруючих компонентів. Основним із таких компонентів є сонячні панелі (СП) або сонячні батареї. Їх виготовляють шляхом механічного та електричного поєднання між собою окремих комірок, які називають фотоелектричними перетворювачами (ФЕП). У результаті отримують незалежні модулі сонячних батарей різних розмірів (рис. 1.1).

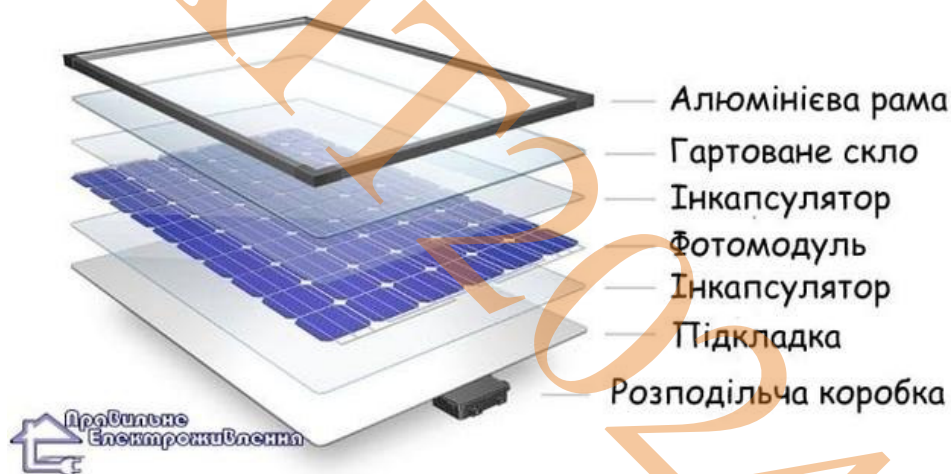


Рисунок 1.1 – Поєднання окремих комірок фотоелектричних перетворювачів у генеруючі модулі та загальна структура СП [1]

Залежно від необхідних електричних параметрів та характеристик модулів (наприклад, струм, напруга, потужність тощо) фотоелектричні перетворювачі електрично з'єднують між собою на одній несучій основі як послідовно, так і паралельно. У результаті послідовного з'єднання ФЕП збільшується вихідна напруга СП, а при паралельному – досягається збільшення вихідного струму.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Очевидно, що для одночасного збільшення і сили струму і величини напруги, необхідно комбінувати обидва вказані способи з'єднання. Позитивним моментом такого з'єднання є й те, що вихід з ладу одного з сонячних ФЕП не призводить до повного виходу з робочого режиму всієї СП. Це підвищує надійність роботи всієї СЕС.

Враховуючи проведений аналіз, можемо зауважити, що при створенні якісної системи автоматичного контролю сонячних електростанцій в неї доцільно ввести спеціальні датчики сили фотоструму для кожної СП. Якщо ж кількість СП дуже велика, то такі датчики корисно ввести в кожен ланцюг послідовно сполучених СП. Таким способом можна буде постійно контролювати продуктивність всіх СП електростанції. При суттєвому ж зниженні потужності окремих СП система керування буде своєчасно надавати інформацію про це обслуговуючому персоналу.

Таким чином, кожна СП електростанції складається з системи паралельно-послідовно з'єднаних окремих сонячних ФЕП. При цьому величина пікової потужності, яка віддається однією СП навантаженню, буде прямо пропорційна сумарній кількості як паралельно, так і послідовно з'єднаних комірок ФЕП (рис. 1.2).

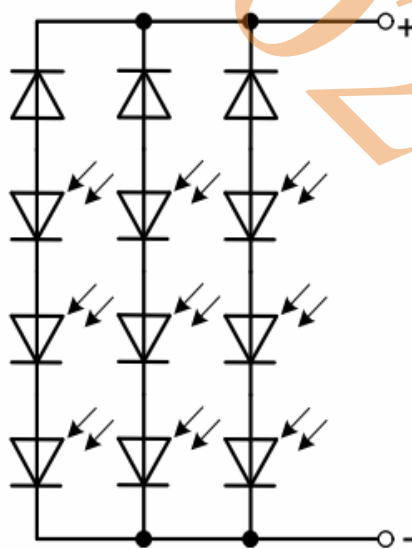


Рисунок 1.2 – Ілюстрація послідовно-паралельного електричного з'єднання комірок ФЕП у СП

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Конструктивно у СП послідовно у кожний ланцюжок електрично послідовно з'єднаних ФЕП вмикають напівпровідниковий діод Шотки (рис. 1.2). Їх застосовують для усунення паразитних зворотних струмів через ті ланцюжки ФЕП, які мають суттєво меншу, ніж в інших ланцюжках ФЕП сумарну ЕРС. Таке, наприклад, може трапитися через затінення окремих комірок даної СП. За рахунок введення в СП діодів Шотки відбувається автоматичне відключення працюючих у не оптимальному режимі ланцюжків від лінії відбору електричної енергії. Зрозуміло, що в даному випадку зменшується генерована відповідною СП потужність електричного струму.

Комірки ФЕП у СП електрично ізолюють від несучої підкладки тонким шаром інкапсулятора – спеціальною тонкою плівкою EVA товщиною біля 500 мкм. Ці плівки одночасно забезпечують і герметизацію комірок, захищаючи тим самим їх від корозії та впливу агресивних компонентів навколишнього середовища. Розміщена зверху СП пластина гартованого скла надає конструкції механічної міцності та надійно захищає поверхню СП від сильного дощу, граду, ударів та інших механічних впливів.

Скляна пластина повинна мати достатню прозорість для активного сонячного випромінювання. З часом її поверхні може забруднюватися, покриватися пилом тощо. При цьому буде суттєво зменшуватися генерована такою СП електрична потужність. Тому введення в систему автоматичного контролю розглянутих вище датчиків буде вчасно сигналізувати і про виникнення й таких небажаних ефектів у різних СП.

Закріплює всі елементи СП в єдину конструкцію алюмінієва рама, яка призначена і для кріплення СП до тієї чи іншої механічної основи (даху будинку, підставка, каркас тощо). Конструктивно у склад СП входять також струмопровідні металеві доріжки, які переносять згенеровані ФЕП струми до спеціальної розподільчої пластикової коробки. Така коробка в більшості сучасних СП монтується на їхній тильній стороні. У цю коробку поміщають і згадані вище діоди Шотки. Тому при розробці системи автоматичного керування в даній

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

коробці послідовно з діодами Шотки доцільно розмістити і датчик генерованого відповідною СП фотоструму, принципи застосування якого описані вище.

1.3 Основні характеристики та параметри сонячних панелей

Основним експлуатаційним параметром СП є її ККД. При цьому цей параметр для всієї СП завжди буде нижчий, ніж ККД окремих її складових сонячних комірок ФЕП. Це зумовлено рядом втрат, які виникають внаслідок не ідентичності властивостей і характеристик окремих фотоелектричних перетворювачів. У результаті в системі послідовно-паралельного з'єднання комірок ФЕП координати їхніх точок максимальної потужності на ВАХ не співпадають.

Зазвичай, ККД кожної СП переважно визначають експериментально. У технічних же параметрах виробник вказує середнє значення цього параметра для конкретного типу СП.

При експериментальних дослідженнях ККД знаходять як відношення корисної максимальної електричної потужності P_m , яку можна передати споживачам з клем СП, до падаючої на поверхню даної СП потужності сонячного випромінювання P_s . Тобто, математично ККД $\eta = (P_m/P_s) \cdot 100\%$. Величина P_m кожної СП знаходиться для відповідної точки її ВАХ, яку називають точкою максимальної потужності (МРРТ) (рис. 1.3). Вона відповідає умовам експлуатації СП з оптимальним навантаженням. Враховуючи ці дані, другим принципом розробки систем автоматичного керування СЕС слід покласти неперервний контроль знаходження їхнього робочого режиму поблизу МРРТ. За результатами такого контролю можна побудувати електронні пристрої автоматичної корекції режимів генерації енергії СЕС.

Величина P_s при експериментальних дослідженнях визначається як добуток сумарної падаючої інтенсивності сонячного випромінювання I_s на загальну площу СП S . Інтенсивність I_s точно вимірюється за допомогою спеціальних приладів, наприклад, піранометра. Тому доцільно в систему автоматичного контролю СЕС

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

вводити окремий такий прилад. Визначення його показів дозволить періодично автоматично контролювати оптимальність режиму роботи СЕС та ефективність їх функціонування

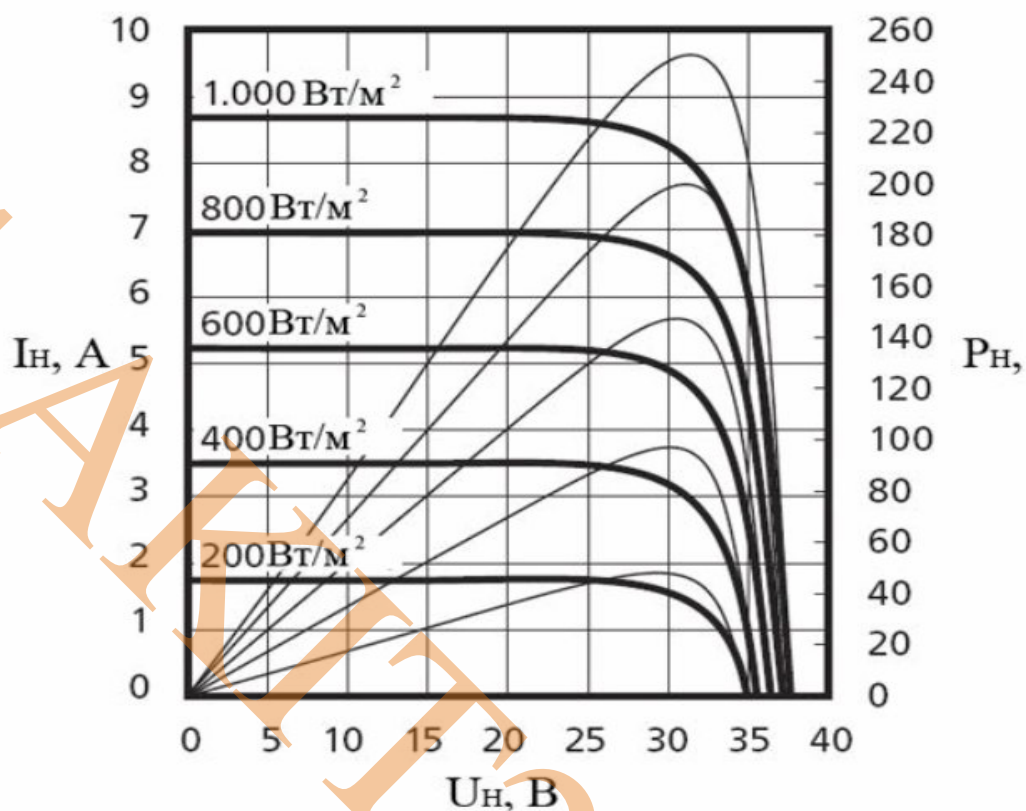


Рисунок 1.3 – Сімейство ВАХ СП FVG 72-156 при різних рівнях інтенсивності сонячного випромінювання [2] МРРТ

Важливим експлуатаційним параметром СП також є їхня номінальна проектована потужність. Ця величина відповідає роботі конкретної СП при інтенсивності падаючого сонячного випромінювання 1000 Вт/м^2 . Проектну потужність вимірюють при стандартних умовах: температура ФЕП 25°C та оптимальне узгодження опору кола електричних споживачів з вихідним опором СП (реалізація режиму МРРТ). При зміні температури генерована СП потужність змінюється – вона зменшується при рості температури. Тому в систему автоматичного керування доцільно ввести і кілька датчиків температури, розміщених на різних СП. Таке рішення дозволяє контролювати температурні параметри генерації енергії та процес деградації ФЕП.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Цілий ряд параметрів СП визначаються з ВАХ СП, типовий вигляд яких наведено вище на рис. 1.3. На ній можна виділити такі основні експлуатаційні параметри:

- сила струму короткого замикання $I_{кз}$, яка є величиною максимального струму, який протікатиме через вихідні клеми СП при заданому рівні інтенсивності сонячного випромінювання, якщо опір зовнішнього навантаження рівний нулю (у такому випадку напруга на вихідних клеммах СП також рівна нулю);

- напруга холостого ходу $U_{хх}$ – це та максимальна величина ЕРС, яка створюється СП на двох своїх вихідних клеммах при відсутності зовнішніх споживачів;

- координати сили струму та напруги згадуваної вище точки МРРТ.

Ще раз підкреслимо, що МРРТ задає параметри оптимальних умов експлуатації СП, при яких у зовнішнє коло віддається максимально можлива потужність генерованої електричної енергії. Такі умови визначаються ступінню оптимальності узгодження режиму роботи СП із режимом роботи зовнішніх споживачів.

У загальному, координати МРРТ за напругою складають приблизно від $0,7 \cdot U_{хх}$ до $0,8 \cdot U_{хх}$, а за струмом – від $0,85 \cdot I_{кз}$ до $0,93 \cdot I_{кз}$. Реально координати МРРТ мало залежать від загальної інтенсивності падаючого на дану СП сонячного випромінювання. (рис. 1.3).

Для конкретного прикладу наведемо основні експлуатаційні параметри кремнієвих полікристалічних СП типу СП FVG 72-156:

- мають $U_{хх} \approx 36$ В;
- $I_{кз}$ прямо пропорційна інтенсивності падаючого сонячного випромінювання і досягає свого максимального значення біля 8,5 А;
- максимальна теоретична проектна потужність біля 300 Вт;
- середня робоча потужність біля 285 Вт;
- напруга холостого ходу практично не залежить від величини освітленості СП.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Ефективність перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію переважно залежить від внутрішньої однорідності атомної структури та оптичних властивостей тих напівпровідників, які застосовані в конструкції ФЕП сонячних батарей. Низьке значення ефективності зумовлюється різними внутрішніми процесами втрат фотонів. Крім того, для СП характерні й суттєві втрати енергії, пов'язані з цілим рядом зовнішніх процесів, а саме:

- значним відбиттям сонячного випромінювання від поверхні СП;
- проходженням значної частини фотонів оптичного випромінювання через р-n-перехід ФЕП без поглинання в ньому;
- затінення певної частини поглинаючої поверхні СП металевими контактами;
- наявністю внутрішнього електричного опору ФЕП та впливом опору їхніх контактів;
- невідповідністю енергії багатьох фотонів сонячного випромінювання робочому енергетичному інтервалу р-n-переходу ФЕП даної СП.

Однак контролювати ці процеси практично не можливо за допомогою різних зовнішніх впливів, у тому числі і за допомогою автоматизації функціонування СП.

1.4 Автоматизація контролю функціонування сонячних електростанцій в цілому

Сучасні сонячні електростанції є з'єднанням між собою кількох генеруючих модулів або масивів, складених із окремих СП (рис. 1.4). Така модульна конструкція значно спрощує монтаж та налаштування СЕС і дозволяє будувати їх у різних конструкційних виконаннях. При цьому будова конкретної СЕС визначається особливостями місця їх розміщення (дах будівлі, окрема земельна ділянка, схил гори, стіна будинку та інше) і навколишнім оточенням (наявність затінюючих об'єктів, близькість до стандартних електричних мереж тощо).

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

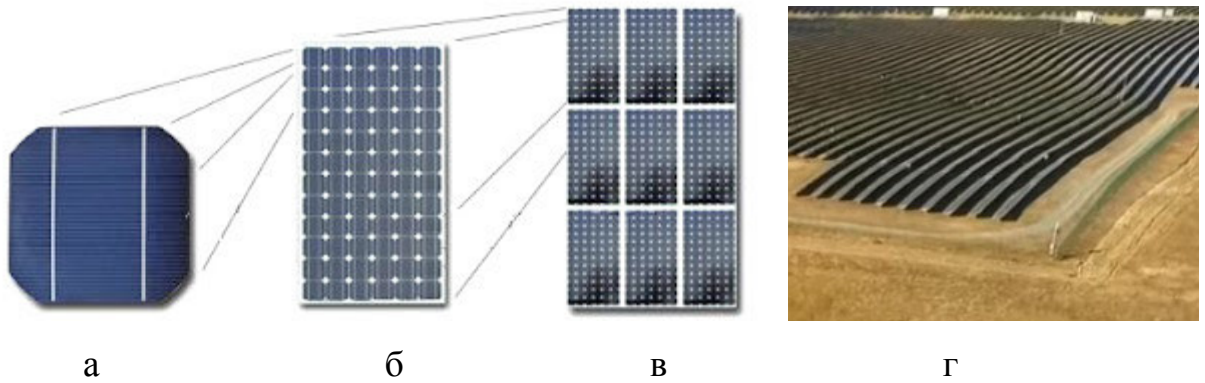


Рисунок 1.4 – Загальна конструкція сонячних ФЕП (а), СП (б), сонячних модулів (в) та масивів (г)

Відповідно, всі сонячні енергетичні системи на сьогодні умовно можна поділити на кілька типів:

- спеціально збудовані комерційні електростанції із великою піковою потужністю, більшою 100 кВт;
- малі СЕС комерційного призначення із потужністю до 100 кВт;
- автономні невеликі енергетичні системи для окремих комерційних об'єктів та домогосподарств із піковою потужністю від кількох кіловат до кількох десятків кіловат;
- електростанції невеликої пікової потужності до 100 кВт комплексного використання – для автономного живлення комерційних об'єктів або домогосподарств та для продажу за «зеленим» тарифом енергопостачаючим організаціям;
- малі стаціонарні автономні електростанції періодичного використання (наприклад, дача) з піковою потужністю в кілька кіловат;
- мобільні міні СЕС потужністю до одного кіловата для використання в авто туризмі, військових, геодезичних та інших польових умовах;
- переносні мікро електростанції з піковою потужністю до кількох сотень ват для заряджання акумуляторів різних сучасних гаджетів у туризмі, на відпочинку тощо.

Зрозуміло, що підходи до розробки систем автоматичного керування будуть, у першу чергу, визначатися саме типом СЕС. Системи першого із

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

наведених вище типу, як правило, розташовують у вигляді великого масиву на спеціально відведених земельних ділянках. Вони містять тисячі СП і займають велику площу. Повна автоматизація всіх таких СП є економічно недоцільною. Контроль за ефективністю їх функціонування більш доречно покласти на обслуговуючий персонал. Крім того, досить ефективним для таких СЕС є періодичне сезонне ручне переорієнтування СП в оптимальне положення щодо координат Сонця на небесній сфері.

Найімовірнішими місцями розміщення СП стаціонарних автономних СЕС невеликої потужності є переважно нерухомі важко доступні конструкції різних будівель (дах, вікна, напівпрозорі перекриття тощо). У такому випадку, у більшості випадків, ручний контроль за функціонуванням СП досить утруднений. Тому саме для таких об'єктів оптимальним є використання різних систем автоматичного керування для підвищення їх енергетичної ефективності. Відповідно, дослідження даної роботи будуть орієнтовані саме на удосконалення таких автономних СЕС. Тому розглянемо коротко ті базові технічні пристрої, які зазвичай входять до складу автономних СЕС невеликої потужності до 100 кВт.

Звичайно, що головним генеруючим елементом є набір СП того або іншого типу. Принципи автоматизації їхнього функціонування було розглянуто вище. Крім СП, найдорожчими пристроями автономної сонячної електростанції є акумуляторна батарея. Відповідно, до її вибору слід віднестися з особливою відповідальністю.

Акумулятори накопичують надлишкову електричну енергію від СП під час своєї зарядки. Даний процес протікає лише тоді, коли до акумуляторів прикладено зовнішній електричний потенціал, який трохи більший від ЕРС самого акумулятора. Таким чином, генеруючий модуль СЕС слід проектувати таким чином, щоб його вихідна робоча напруга перевищувала ЕРС використаної акумуляторної батареї з урахуванням певного падіння напруги на проміжних електричних компонентах та з'єднаннях. Крім того, сумарний струм СЕС має забезпечувати як живлення споживачів, так і достатню швидкість заряджання акумуляторів. Наприклад, для зарядки сучасної свинцевої тягової акумуляторної

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

батареї з ЕРС 12 В слід мати генеруючий модуль із кількох СП, який на виході забезпечить постійний електричний струм з величиною напруги більше 14 В та із силою струму до десятка ампер протягом основної сонячної частини доби. При цьому саме процесам автоматичного оптимального функціонування акумуляторних батарей у режимах заряджання та розряду слід приділити значну увагу при розробці систем контролю малих автономних СЕС.

На сьогодні ринок пропонує багато різних типів акумуляторних батарей. Кожен із цих них розрахований на певний напрямок використання. Для автономних СЕС не підходять акумулятори, які не можуть працювати в режимах з глибокою розрядкою та мають невелику кількість циклів «заряд-розряд». У цьому відношенні оптимальним є застосування акумуляторів глибокого циклу розряду, які ефективно працюють і при регулярних часткових розрядах, і при повільному глибокому розряджанні.

У сучасній ресурсозберігаючій енергетиці найбільш ефективними є літєві, гелієві та спеціальні свинцеві акумулятори, які вигробляють за AGM-технологією. Таким типам батарей не потрібні спеціальні умови для монтажу, експлуатації, а також вони не потребують регулярного обслуговування. Фактичний термін служби даних батарей – у межах від 10 років до 12 років із можливістю багатьох циклів глибокого розряду (до 20% від номінальної ємності). Однак, чим частіше застосовуються цикли глибокого розряду, то тим швидше скорочується термін експлуатації акумуляторів.

Як правило, накопичувальні акумуляторні батареї в СЕС постійно працюють у режимі «розряд-підзаряд». Такі процеси мають оптимальні режими своєї реалізації. Для їх забезпечення слід застосовувати спеціальні електронні модулі – контролери заряду та розряду.

Такі пристрої виконують цілий спектр функцій. Наведемо основні із них:

- постійний контроль ступеня зарядженості батареї;
- вчасне відключення акумуляторної батареї від заряджання при досягненні нею номінального заряду;
- підключення акумуляторів до заряджання по мірі необхідності;

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- підтримання потрібної сили струму заряджання в різних режимах процесу зарядки;
- постійне підтримання оптимальної для даної батареї напруги у процесі заряджання;
- перемикання різних режимів заряджання акумуляторів при різних рівнях їх розрядки;
- автоматичне відключення батареї від мережі споживачів при глибокому ступені розряду;
- переключення генеруючого модуля СЕС на баластне навантаження, якщо вироблена потужність не споживається споживачами і не потрібна для продовження заряджання акумуляторів (для прикладу, таким баластним навантаженням може бути бойлер гарячої води);
- неперервне підтримання точки МРРТ для передачі максимальної потужності від СП;
- періодичний та регулярний моніторинг основних параметрів функціонування всіх елементів СЕС;
- забезпечення сервісних та інформаційних функцій.

Наведений аналіз показує, що на контролер покладається велика кількість функцій. На ринку сьогодні присутні багато моделей простих дешевих контролерів із виконанням лише кількох із перерахованих вище функцій. Однак, для досягнення максимально ефективного оптимального використання генерованої СЕС електроенергії, слід застосовувати контролер, який виконує більшість із наведених вище операцій. У цьому відношенні широкий вибір сучасних контролерів можна поділити на три основні групи:

- пристрої типу ON/OFF;
- контролери з широтно-імпульсною модуляцією (PWM-controllers – pulse-width modulation);
- ТМП-контролери із неперервним слідкуванням за положенням точки максимальної потужності – (MPPT-controllers — Maximum power point tracker).

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Для автоматичних автономних СЕС оптимальним є використання ТМП-контролерів або, в крайньому разі, ШІМ-контролерів.

Для використання незначної генерованої потужності при малих рівнях сонячного освітлення доцільно ввести до енергетичної складової СЕС перетворювач постійного струму. Він дозволяє використовувати електричну енергію СП споживачам при таких умовах, коли контролер не може забезпечити оптимальне керування енергетичними потоками. Перетворювач же постійного струму буде підвищувати вихідну напругу та силу струму від СП до таких рівнів, при яких контролер надійно виконує свої функції..

Для підключення до автономної СЕС споживачів змінного струму в неї вводять модуль інвертора. З точки зору повної автоматизації роботи СЕС, слід використовувати гібридний інвертор.

Висновки до розділу.

1. Для розв'язання поставлених у завданні до кваліфікаційної роботи задач, необхідно в системі автоматичного керування передбачити такі основні модулі:

- блок датчиків потужності електричного струму, які розміщені по одному в кожній СП;
- датчики потужності електричного струму в кожній паралельній гілці послідовно сполучених СП;
- датчик інтенсивності сонячного випромінювання;
- кілька датчиків температури ФЕП сонячних батарей;
- автоматичний МРРТ-контролер з можливістю програмного налаштування режимів його функціонування;
- повністю автоматичний «розумний» гібридний інвертор;
- керований перетворювач постійного струму з низьким рівнем вхідної потужності.

2. Для оптимального проектування СЕС слід провести достовірний аналіз основних параметрів базових енергетичних модулів електростанції. У такому аналізі необхідно врахувати реальні середні метеорологічні умови, які визначають

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

зміни інтенсивності сонячного випромінювання протягом кількох, найбільш критичних місяців року.

3. Виходячи з отриманого за п.2 результату можна підібрати всі робочі модулі СЕС та розробити функціональну і принципову електричні схеми системи автоматичного контролю.

4. Для автоматизації роботи автономної СЕС на стадії навчального проектування доцільно використати простий готовий модуль мікроконтролера невеликої інформаційної потужності.

АКТИВ 2024

АКТИВ

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

2 АНАЛІЗ МІНІМАЛЬНОЇ ГЕНЕРОВАНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗА СЕРЕДНЮ ДОБУ В УМОВАХ ЗАКАРПАТТЯ

Перед встановленням окремої автономної сонячної електростанції слід врахувати значну кількість різноманітних факторів: витрати фінансів та матеріалів, сонячну інсоляцію та метеорологічні дані, географічне місце та спосіб встановлення СП, їхні кути нахилу та ін. У результаті критичного аналізу всіх таких параметрів можна розробити ескізний проект, який забезпечить оптимальні умови для експлуатації даної СЕС з отриманням максимальної генерованої потужності.

Головною особливістю автономних СЕС є те, що вони повинні безперервно забезпечувати всі енергетичні потреби конкретного домогосподарства протягом цілого року. У таких умовах визначальним параметром виступає середня добова сонячна інсоляція, яка доступна протягом зимових місяців. Це обумовлено тим, що саме в цей період середня тривалість дня мінімальна, а погода в більшості регіонів Закарпаття переважно хмарна і дощова. Однак і в цих, найгірших умовах, СЕС має забезпечувати безперебійне живлення електричною енергією всього домогосподарства.

Першим кроком для такого детального аналізу є розрахунок об'єму середньодобового виробництва електроенергії стандартною СП в той чи інший місяць року. Основою таких розрахунків є метеорологічна середньодобова інсоляція в географічному місці встановлення електростанції. У даній роботі для розрахунків скористаємось базою метеорологічних даних для міста Ужгорода за 2022 та 2023 роки [4]. Наявні в цій базі статистичні дані показують, що найбільш несприятливими в цей період для Закарпаття є місяці грудень та січень. Для них наявні статистичні дані наведені на рис. 2.1 та 2.2.

Для спрощення математичних розрахунків для аналізу вибиралися дані лише для світлового періоду кожної доби. При цьому були умовно визначені такі три основні типи днів місяця щодо загальних метеорологічних умов хмарності та опадів:

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

- переважно сонячний день;
- приблизно наполовину сонячний день, а наполовину хмарний;
- переважно хмарний день;
- весь день переважно з опадами.

Кінцеві результати проведеного теоретичного аналізу наведено в таблиці

2.1.

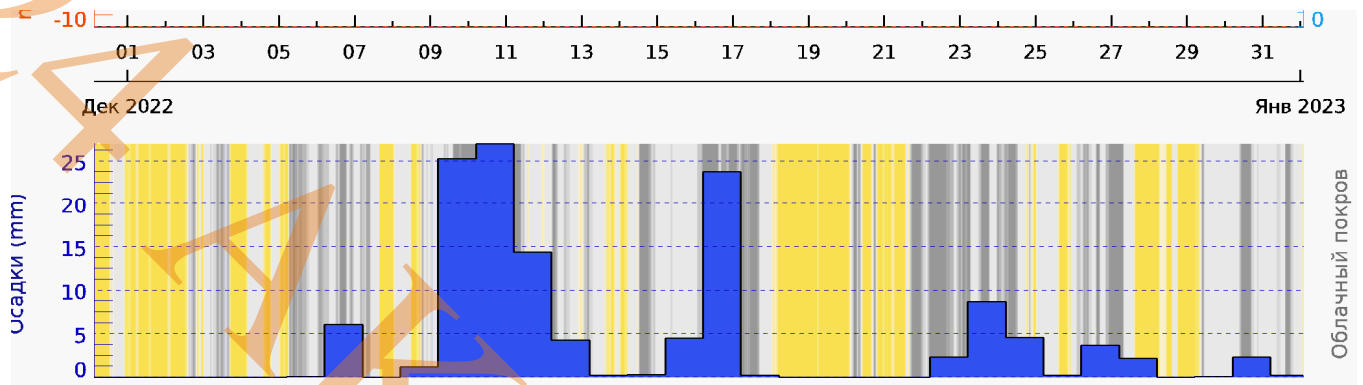


Рисунок 2.1 – Статистичні дані щодо хмарності та опадів протягом грудня 2022 року для регіону Ужгорода [4]

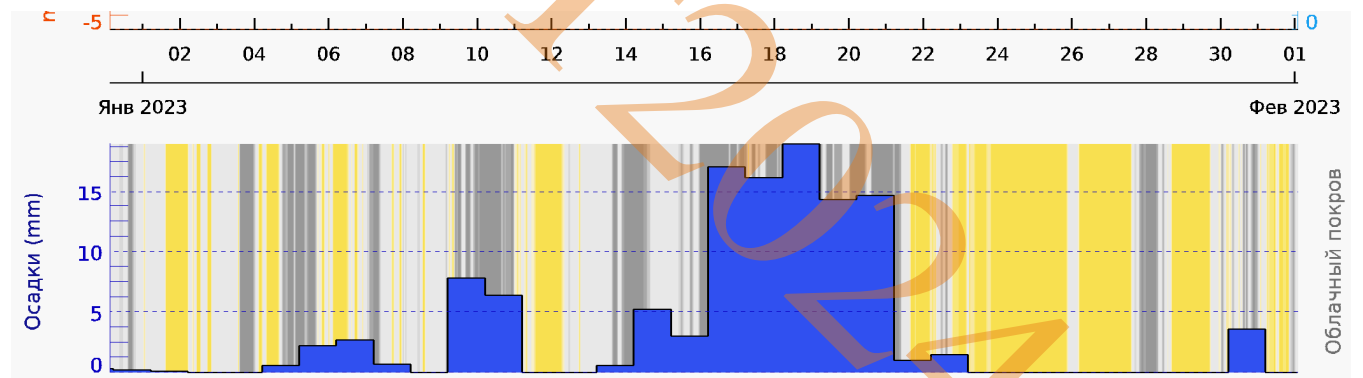


Рисунок 2.2 – Статистичні дані щодо хмарності та опадів протягом січня 2023 року для регіону Ужгорода [4]

Підсумовуючи отримані результати аналізу можна зробити важливий висновок: протягом досліджуваного періоду загальною тривалістю 62 дні 30 % днів були сонячні, 22 % – сонячно-хмарні, 32 % – хмарні, 16 % – дощові.

Таблиця 2.1 – Результати спрощеного аналізу статистики різних погодних умов для регіону Ужгорода за грудень 2022 року та січень 2023 року

Погодні умови середні	Кількість днів різного типу у грудні 2022 року	Кількість днів різного типу у січні 2023 року
Сонячно	8	10
Сонячно-хмарно	4	10
Хмарно	15	5
Дощ	4	6

Для подальших математичних розрахунків та теоретичного аналізу приймемо до уваги результати досліджень [5]. Відповідно з ними, по відношенню до пікової проектної потужності СЕС:

- при сонячній погоді генерує біля 100 % електроенергії;
- під час сонячно-хмарних днів – біля 50% енергії;
- під час хмарних днів – біля 25% енергії;
- під час дощових днів – практично не генерує енергію на вихід.

Надалі приймемо до уваги також основні кількісні дані параметрів експлуатації в СЕС окремих стандартних СП [6]:

- проектна пікова потужність P : 535 Вт;
- спосіб монтажу: стаціонарний;
- кут нахилу до горизонту: оптимальний для осінньо-зимового періоду;
- середня температура повітря зовнішнього середовища: 0 °C;
- середньодобова тривалість «світлового» дня: 10 год;
- середньоденна генерована потужність: 50 % від пікової проектної;
- проектний ККД: 20 %.

Проведемо кінцеві загальні розрахунки енергетичних параметрів для однієї СП.

1. Визначимо кількісно вплив зниження температури СП на їхній ККД. При цьому врахуємо, що технічні параметри СП зазвичай приводять для нормованої температури оточуючого середовища 25 °C. Підвищення даної температури

істотно понижує ефективність виробництва СП електричної енергії. При цьому відомо, що напруга і потужність генерованого електричного струму зменшуються, а сила струму трохи підвищується. Тому в жарку літню погоду ККД СП замість проектної величини біля 20 % буде складати лише 18 %. Зимом ж спостерігається зворотнє явище – ККД буде в певній мірі підвищуватись і може досягати величини до 22 %.

Використаємо просту математичну закономірність: зі зміною температури на 1 °С потужність електричного струму, генерованого сонячною електростанцією у оптимальних умовах експлуатації змінюється приблизно на 0,41%. Тоді для осінньо-зимового періоду проектна пікова потужність СП збільшиться на

$$0,41 \cdot 25 = 10 \%$$

Отже, генерована однією СП пікова потужність для аналізованого періоду становитиме

$$535 \cdot 1,1 = 590 \text{ Вт.}$$

2. Тепер можна наближено розрахувати сумарну кількість генерованої однією СП електричної енергії при середньостатистичному сонячному дні експлуатації:

$$W_s = 0,5 \cdot (590 \text{ Вт}) \cdot (10 \text{ год}) \approx 3 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

3. Врахування статистичних метеорологічних умов, описаних вище, дозволяє оцінити середню денну генерована електроенергія однією СП протягом аналізованого осінньо-зимового періоду:

$$W = (18 \cdot 3 + 14 \cdot 3 \cdot 0,5 + 20 \cdot 3 \cdot 0,25) / 62 = (54 + 21 + 15) / 62 \approx 1,4 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Із отриманих результатів видно, що за рахунок поганих погодних умов одна СП в осінньо-зимовий період протягом дня генерує незначну кількість електричної енергії – біля 1,4 кВт·год.

Висновок до розділу 2. Проведені прості статистичні розрахунки показали, що врахування реальних метеорологічних даних для регіону Закарпаття приводить до досить песимістичного висновку: протягом грудня та січня місяця в

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

умовах міста Ужгорода одна стандартна СП проектною потужністю 350 Вт кожного дня в середньому може виробляти лише приблизно 0,7 кВт·год електричної енергії.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

3 АНАЛІЗ СЕРЕДНЬОДОБОВИХ ВИТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТИПОВИМ ДОМОГОСПОДАРСТВОМ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ

Важливим питанням при проектуванні автономних СЕС є сумарні середні добові витрати електричної енергії споживачами. Тому розглянемо тепер перелік тих основних споживачів електроенергії, які характерні для сучасного типового домогосподарства. Для цього слід визначити ту кількість електроенергії, яку споживає в середньому кожен типовий споживач. Такі розрахунки проведемо для найбільш енергетично затратного зимового періоду. При цьому не будуть враховуватися прилади обігріву приміщень та базові прилади для приготування їжі. Умовно приймається, що ці прилади, які вимагають досить великих енергетичних затрат, забезпечуються іншим джерелом енергії, зокрема, це може бути природній газ чи тверде паливо. Крім того, розрахунки проведемо для домогосподарств, у яких проведені основні міроприємства по енергозбереженню та енергоефективності.

Для окреслених вище математичних розрахунків скористаємось паспортними даними більшості сучасних типових аналізованих споживачів (табл.3.1).

Важливою складовою проведення розрахунків є відокремлення того періоду доби, коли СЕС не генерує електроенергію. Тобто, серед загального сумарного споживання електроенергії слід виділити «нічний» енергетичний ресурс, базовим джерелом якого є акумуляторна батарея. Для такого окремого аналізу визначимо споживання енергії різними електричними приладами домогосподарства в інтервал часу приблизно від 5 години вечора до 7 години ранку. У цей період часу СП перестають ефективно генерувати електроенергію. Результати такого «нічного» аналізу наведено в табл.3.2.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Таблиця 3.1 – Розрахунок середньодобового споживання електроенергії типовими електричними приладами домогосподарства в зимовий період

Прилади	Середньодобове споживання, кВт·год
Холодильник 2-х камерний, 2-х компресорний	1,0 (330 Вт на 3 год)
Електричний чайник	0,6 (1500 Вт на 0,4 год)
Мікрохвильова піч	0,6 (1500 Вт на 0,4 год)
Циркуляційні насоси та автоматика системи опалення	0,4 (50 Вт на 8 год)
Загальне освітлення зональне із 10 світлодіодних ламп потужністю по 10 Вт	0,5 (100 Вт на 5 год)
Різні гаджети	0,4
Телевізор із антенним обладнанням	0,5 (100 Вт на 5 год)
Інші витрати	1,0
Загальне середнє споживання енергії на добу	5,0

Виходячи із наведених даних також видно, що миттєва споживана потужність домогосподарством у окремі моменти часу може досягати більше 3 кВт. Це відповідає одночасному включенню мікрохвильової печі та електричного чайника. Таку особливість слід враховувати при виборі кількості СП для СЕС.

Таблиця 3.2 – Середньодобове споживання електроенергії типовими приладами домогосподарств у «нічний» зимовий період

Прилади	Середньодобове споживання, кВт·год
Холодильник 2-х камерний, 2-х компресорний	0,5 (330 Вт на 1,5 год)
Електричний чайник	0,45 (1500 Вт на 0,3 год)
Мікрохвильова піч	0,45 (1500 Вт на 0,3 год)
Циркуляційні насоси та автоматика	0,2 (50 Вт на 4 год)

системи опалення	
Загальне освітлення зональне із 10 світлодіодних ламп потужністю по 10 Вт	0,5 (100 Вт на 5 год)
Різні гаджети	0,2
Телевізор із антенним обладнанням	0,5 (100 Вт на 5 год)
Інші витрати	0,6
Загальне середнє споживання енергії на добу	3,5

Аналіз результатів проведених розрахунків показує, що у зимовий період для окремого домогосподарства автономна СЕС повинна генерувати кожної доби у середньому більше 5 кВт·год електричної енергії. При цьому лише 1,5 кВт·год енергії витрачається безпосередньо від СП, а 3,5 кВт·год електроенергії повинні акумулюватися акумуляторними батареями для послідуочого використання в «нічний» час.

Наведений теоретичний аналіз не враховує кілька важливих особливостей експлуатації СЕС.

1. Не дивлячись на відносно невелику кількість споживаної середньодобової електроенергії величиною 5 кВт·год, потужність проєктованої СЕС маю бути суттєво вищою, оскільки в зимовий період світлова інсоляція досить низька. Тому за короткі сонячні проміжки СЕС має згенерувати для акумулювання великі об'єми електроенергії.

2. У розрахунках було використано ідеальні умови роботи всіх приладів систем як генерування, так і споживання електроенергії, Реально ж всі такі прилади мають певні коефіцієнти корисної дії (ККД), що зумовлено різними втратами електроенергії в них. Зокрема, значні втрати можуть бути при зарядці акумулятора, при роботі контролера та інвертора тощо. Для компенсації даних втрат СЕС має генерувати трохи більшу електричну енергію, ніж це розраховано в табл.3.1 та 3.2.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Враховуючи окреслену другу особливість, приймемо, що сумарні максимальні витрати для автономної СЕС складають величину біля 10 % від загального об'єму споживання електроенергії. Тоді отримаємо, що за одну середньо-зимову добу автономна СЕС має генерувати $1,1 \cdot 5 \text{ кВт} \cdot \text{год} \approx 5,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ електроенергії. Відповідно, «нічні» витрати енергії акумуляторними батареями будуть рівними $1,1 \cdot 3,5 \text{ кВт} \cdot \text{год} \approx 3,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}$.

Висновок до розділу 3. Проведений теоретичний аналіз та математичні розрахунки показують, що для типового господарства автономна СЕС в зимовий період має генерувати протягом середньої доби біля $5,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ електроенергії. У той же час акумуляторна батарея повинна акумулювати середньо-добовий запас електроенергії, не менше $3,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}$.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

При розробці структурної електричної схеми слід врахувати основні особливості тривалої експлуатації повністю автономних сонячних електростанцій. Відповідно із проведеним у попередніх розділах аналізом, для автономних СЕС має бути характерно:

- максимальний відбір генерованої СП електричної енергії, тому вони повинні працювати навіть при можливих мінімальних рівнях інтенсивності сонячного випромінювання, які лежать біля 100 Вт/м^2 ;
- у складі системи слід передбачити хороший сучасний контролер з максимальним ККД щоб забезпечити оптимальні режими заряджання та розрядки акумуляторних батарей;
- СЕС має бути орієнтована на найменшу кількість перетворень електричної енергії з одного виду на інший, наприклад, з електричного постійного струму у змінний та навпаки;
- основний перетворювач у вигляді інвертора повинен мати максимальний ККД;
- автономність та автоматичний режим оптимального функціонування СЕС має забезпечувати спеціальний модуль керування;
- у модуль системи автоматичного керування (САК) мають входити ті прилади, вибір яких окреслено в попередніх розділах.

Виходячи із наведених вище базових вимог, запропоновано структурну електричну схему автоматичної автономної сонячної електростанції, яка в цілому наведена в додатку до роботи як конструкторська документація.

Зрозуміло, що основою СЕС є окремий силовий генеруючий модуль із сучасних СП. Вироблена енергія даним модулем буде мати досить широку варіацію своїх параметрів (у першу чергу сила струму та вихідна потужність) у залежності від інтенсивності сонячного випромінювання. Тому напряму використовувати таку електроенергію можливі споживачі не зможуть.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Відповідно, живлення споживачів домогосподарства повинно відбуватися через динамічний буферний енергетичний резервуар. У якості останнього найчастіше застосовують акумуляторні батареї.

Для оптимального узгодження енергетичного модуля СЕС із буферною системою акумуляторів та кінцевими споживачами застосуємо спеціалізований контролер. Для забезпечення максимальної ефективності використання всієї генерованої електроенергії використано сучасний вискоефективний ТМП-контролер.

Оскільки відбір електроенергії від СП має відбуватися і в режимах з мінімальним рівнем сонячного освітлення, то для даних режимів між генеруючим модулем із СП та контролером введено перетворювач постійного струму. Основна його функція полягає в перетворенні генерованої модулем СП електроенергії малої потужності в енергію з такими параметрами, при яких стає можливим безперебійне функціонування контролера. У такому разі контролер забезпечить надходження до акумуляторів додаткової енергії.

Сучасні перетворювачі постійного струму переважно функціонують у режимах підвищення та стабілізації або свого вихідного струму, або вихідної напруги при надходженні на вхід дуже слабкого електричного струму від СП. Для СЕС досить високої потужності функції такого перетворювача одночасно виконують самі контролери заряду-розряду.

Повністю автоматичну, оптимальну і взаємоузгоджену між собою роботу модуля СП, перетворювача постійного струму, контролера та акумуляторної батареї буде забезпечувати відповідна САК. Для її побудови доцільно використати інтегральний модуль контролю параметрів СП та окремі інформаційні модулі І1, І2, І3 і т.д., кожен із яких буде автоматично вимірювати параметри різних енергетичних потоків СЕС і контролюватиме їхні перерозподілити. У результаті буде здійснено керування основними процесами у різних енергетичних лініях та каналах електростанції. Керування інформаційними потоками від датчиків СП доцільно здійснювати через керований мультиплексор. Обробку отриманих від інформаційних модулів даних та здійснення необхідних

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

логічних операцій з автоматичного керування СЕС покладаємо на сучасний спеціалізований модуль промислового контролера (MCU).

Крім основних інформаційних датчиків у САК введено і кілька допоміжних датчиків температури СП та рівня інтенсивності сонячного випромінювання, на даний період.

Відбір енергії від СЕС зовнішніми споживачами відбувається через буферну акумуляторну батарею. Для цього передбачено дві незалежні енергетичні лінії:

- лінія постійного струму з величиною ЕРС, рівною ЕРС акумуляторної батареї;
- лінія мережі стандартного змінного струму 220 В.

По першій вказаній енергетичній лінії споживачі отримують електричну енергію безпосередньо від акумуляторної батареї. У випадку, якщо параметри напруги вхідного живлення деяких споживачів не відповідатимуть величині ЕРС акумуляторної батареї, то в таких лініях передбачено застосування додаткових автономних перетворювачів постійного струму. Вони передбачатимуть формування стабільних напруг +5 В, +12 В, +24 В або +48 В, які є найбільш поширеними на сьогодні для живлення різних сучасних електричних приладів та гаджетів.

Друга енергетична лінія стандартної мережі 220 В отримує струм від спеціалізованого інвертора з чистою синусоїдою частотою 50 Гц. Даний електричний компонент повинен мати достатню вихідну потужність, не меншу 5 кВт. Це забезпечить тривале неперервне живлення необхідною електроенергією всіх тих споживачів домогосподарства, робота яких передбачена на стандартному змінному струмі.

Виходячи із розробленої структурної схеми, на САК покладено і ряд додаткових функцій:

- контроль параметрів електричної енергії, генерованої кожною СП;
- контроль параметрів електричної енергії, протікаючої в кожній гілці паралельно з'єднаних СП;

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

- контроль параметрів електричної енергії у двох лініях живлення споживачів;
- контроль нештатних або аварійних ситуації, які можуть виникати в основних компонентах СЕС (перетворювачі струму, контролер, інвертор) та в її енергетичних каналах;
- постійний моніторинг основних параметрів генерованої та споживаної електричної енергії;
- неперервний контроль температури СП та рівня освітленості їхніх поверхонь;
- інформування власника автономної СЕС про відхилення від її штатної роботи;
- інші основні або сервісні функції.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

5 ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

5.1 Сонячні панелі

За основу генеруючого модуля СЕС виберемо монокристалічні кремнієві СП фірми LongiSolar. Дані пристрої на сьогодні серед комерційних продуктів мають найкраще поєднання базових параметрів: високий ККД та гарантійну довговічність до 10 років. Зокрема, хорошими експлуатаційними та економічними властивостями наділені СП марки LR5-72HPH 535WMONO [7]. Їхні основні робочі параметри та характеристики наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Основні дані СП типу LongiSolar LR5-72HPH 535W [7]

Базовий параметр	Значення базового параметра
Тип	LR5-72HPH
Модель	LR5-72HPH 535W
Середній ККД СП	20 %
Середній ККД ФЕП	21 %
Максимальна пікова проектна потужність	530 Вт
Максимальна проектна напруга	Біля 42 В
Максимальний проектний струм	13 А
Напруга холостого ходу	49 В
Струм короткого замикання	Біля 14 А
Температурний коефіцієнт потужності	-0,36 %
Діапазон робочих температур	Від -40 ° до +80 °
Кількість ФЕП	144
Розміри	2256 мм x 1133 мм x 35 мм
Вага	Біля 27,2 кг
Вартість (оптова)	Біля 100 Євро

Сонячні панелі LR5-72HPH-535W є сучасними генеруючими модулями спліт-типу, які конструктивно побудовані з двох окремих частин (верхньої та нижньої). У основі кожної частини модуля покладено окремі монокристалічні фотоелектричні кремнієві ФЕП, на поверхні яких нанесено струмопровідні шини за технологією 9BB. Тильна поверхня фотоелементів покрита діелектричним покриттям. Контакт ФЕП із основою всієї конструкції у вигляді пластикової металізованої пластини відбувається через мікроотвори, виготовлені за технологією PERC. З лицьового боку кремнієві ФЕП покриті міцним прозорим загартованим склом. Всю конструкцію СП обрамляє алюмінієвий каркас із стійкого до атмосферних впливів профілю.

Особливостями вибраних для СЕС СП є гарантійний термін збереження основних енергетичних параметрів та характеристик – протягом 25 років. При цьому після закінчення такого тривалого терміну експлуатації рівень потужності СП повинен зменшитися не більше ніж на 15 %, залишаючись на рівні біля 440 Вт. При виробництві модулів LR5-72HPH-535W використовується нова сучасна технологія пайки провідників, яка суттєво зменшує відстань між окремими ФЕП, що дозволяє максимально використовувати всю площу СП для генерації електроенергії. Крім того, вибрані модулі мають низький температурний коефіцієнт та рекордні на сьогодні параметри виробництва електричної енергії при низькій інтенсивності сонячного світлового випромінювання. Позитивним моментом є й значне допустиме снігове та вітрове механічні навантаження модулів – до 5400 Па.

Розрахуємо тепер кількість N СП типу LR5-72HPH 535W, які необхідно використати у складі генеруючого модуля автономної СЕС. Для цього слід розділити середньодобову потребу типового домогосподарства в електричній енергії (за нашими вихідними умовами вона рівна 5,0 кВт·год) на середньодобову продуктивність однієї СП. Тоді отримаємо:

$$N = (5,0 \text{ кВт} \cdot \text{год}) / (3 \text{ кВт} \cdot \text{год}) \approx 2.$$

Заокруглення кількості СП при математичних розрахунках проводилося у сторону більшої величини.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Таким чином, для забезпечення електричною енергією домогосподарства у випадку її рівномірного споживання автономна електростанція має мати не менше як 4 СП, які повинні працювати кожен день. Однак, споживання електроенергії може бути досить нерівномірним. Зокрема, у попередньому аналізі ми допускали окремі випадки підвищення споживання до потужності 3 кВт. Для забезпечення таких режимів роботи СЕС, кількість СП в ній має бути не менше 6. У такому разі дані потужні режими споживання не будуть інтенсивно виснажувати акумуляторні батареї, якщо сонячна інсоляція є достатньою для їх забезпечення самими СП.

Крім того, у наведених вище розрахунках було застосоване досить грубе наближення – усі осінні та зимові дні мають приблизні середні погодні умови, при яких відбувається неперервна генерація електроенергії протягом світлового дня. У реальності ж протягом осінньо-зимового періоду часто бувають періоди з інтенсивною хмарністю та опадами продовж кількох днів. Під час таких періодів генерація від СЕС практично відсутня. При цьому, якщо електростанція функціонує в умовах туману, високої хмарності або ж Сонце знаходиться досить низько над горизонтом, то вона використовує лише невелику частку своєї продуктивності. Аналіз показує, що в такі періоди при невеликій хмарності СЕС може видавати до 80% максимальної проектної потужності, а в похмуру погоду – лише до 20% проектної потужності (рис. 1.7). При зниженні ж величини сонячної інсоляції нижче певної межі СЕС припинить виробництво електричної енергії зовсім. Для кремнієвих кристалічних ФЕП ця межа знаходиться біля сонячної інтенсивності 150 Вт/м^2 , а для аморфних – близько до 100 Вт/м^2 .

Для врахування у проектних розрахунках описаної вище ситуації можливі кілька технічних рішень:

- суттєве збільшення загальної кількості СП електростанції;
- введення в систему електроживлення домогосподарства додаткового генеруючого модуля, наприклад, сучасного дизель генератора, або генератора на зрідженому газі;

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

- з'єднання автономної електростанції зі стандартною мережею змінного струму 220 В через гібридний інвертор.

Останнє із наведених вище рішення суперечить одній із базових вимог завдання на виконувани кваліфікаційну роботу – повна автономність СЕС. Якщо ставиться додаткове питання проведення кабельної лінії змінного струму на 220 В, то тут оптимальним технічним рішенням буде не повністю автономна сонячна електростанція, а гібридна комбінована. Таке проектування є окремим дослідженням, яке має враховувати аналіз фінансової вартості проекту встановлення кабельної лінії, яка може бути суттєво вища від вартості самої автономної СЕС.

Виходячи із наведеного вище, зупинимося при проектуванні на поєднанні двох перших із наведених варіантів технічних рішень: збільшення загальної кількості СП і введення в систему електричного живлення домогосподарства генератора на зрідженому газі з потужністю в кілька кіловат. Дане рішення ґрунтується також на вихідних умовах до даного проекту – готування їжі та гаряче водопостачання не забезпечуються автономної електростанцією. Тому тут найбільш доцільно застосувати сучасну газову плиту та систему водонагріву на стандартних балонах із зрідженим природнім газом. У такому разі, такі балони періодично в осінньо-зимній період зможуть жити і додатковий електричний генератор. Використання даного генератора може бути винятково корисним і при появі тих або інших неполадок у роботі обладнання самої автономної сонячної електростанції.

Таким чином, у якості базового генеруючого модуля автономної електростанції виберемо масив із шести СП LR5-72HPH 535W. Такий енергетичний модуль повністю забезпечує виконання умов завдання на дану кваліфікаційну роботу протягом переважаючої більшості днів року. При такому технічному рішенні генерований проектний обсяг електроенергії буде недостатнім протягом приблизно 15 днів із 365. У ці дні з поганими погодними умовами додатково буде підключатися малопотужний генератор на зрідженому газі.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Відмітимо, що власне генератор не входить до складу проектованої автономної автоматичної електростанції, оскільки таке рішення виходить за межі виконуваної роботи. Така комбінована енергетична система може стати предметом досліджень окремої технічної розробки. Однак при виборі базових комплектуючих сонячної електростанції буде надаватись перевага тим елементам, які дозволяють провести просте підключення до енергетичної системи зовнішнього генератора змінного струму.

На закінчення доцільно обрати оптимальний спосіб електричного з'єднання окремих СП в єдиний енергетичний генеруючий модуль. Для зменшення сили постійного струму у провідниках та елементах системи доцільно забезпечити досить високу вихідну ЕРС генеруючого модуля. Для цього слід застосувати послідовне з'єднання 2 СП в один електричний ланцюг. Це забезпечить вихідну робочу напругу такого блоку біля 80 В. Оскільки до складу СЕС входить 6 окремих СП, то доцільно конструктивно створити три силових ланцюгів по 2 СП в кожному і з'єднати їх паралельно. При цьому в електричне коло кожного такого ланцюга додатково вводиться датчик параметрів електричної енергії, яка передається по ньому.

Сумуючи результати всього аналізу даного розділу, можна констатувати такі основні проектні параметри модуля генерації автономної сонячної електростанції – дивись табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Проектні параметри генеруючого модуля сонячної електростанції

Параметр	Значення параметра
Тип СП	LR5-72HPH
Тип орієнтації	Оптимальна з періодичною сезонною переорієнтацією
Кількість СП	6
Ефективність (середній ККД)	20 %
Максимальна проектна потужність	3,5 кВт

Продовження таблиці 5.2

Параметр	Значення параметра
Проектна пікова вихідна напруга	Біля 85 В
Проектний піковий вихідний струм	Біля 40 А
Площа модуля	Біля 15 м ²
Загальна вага	Біля 180 кг
Ціна	Біля 600 Євро

5.2 Аналіз вибору батареї акумуляторів

Враховуючи всі отримані результати проведеного вище аналізу, доцільно сконцентрувати технічний вибір на акумуляторній батареї циклів з глибоким розрядом та терміном неперервної експлуатації не менше 10 років. При цьому врахуємо також рекомендації [8], які пропонують застосовувати для автономних електростанцій відносно невеликої потужності стандарт робочої напруги постійного струму 48 В або 72 В. Оскільки робоча напруга однієї проектної СП біля 40 В, то вона не може забезпечити надійне та оптимальне функціонування контролера електростанції й зарядку акумуляторних батареї. У свою чергу, застосоване послідовне з'єднання двох СП дає робочу напругу біля 80 В. Дана величина напруги є максимальною і тому не відповідає оптимальним режимам функціонування контролера щодо процесу заряджання акумуляторних батарей зі стандартною напругою живлення 72 В. Тому доцільно у складі автономної СЕС зупинити вибір на батареї акумуляторів із робочою напругою 48 В. Для забезпечення ефективного заряджання такої батареї рекомендовано застосовувати ЕРС приблизно на 25 % більші за робочу. Такій умові відповідає максимальна напруга зарядки біля 70 В. Дана величина напруг надійно забезпечується спроектованим генеруючим модулем із 6 СП з робочою вихідною напругою до 80 В.

Відповідно до розрахунків, проведених у третьому розділі роботи, акумуляторна батарея повинна мати середньодобовий запас електричної енергії

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

на рівні, не меншому 3,5 кВт·год. При періодичних циклах розрядження до 20 % такому запасу відповідає електрична ємність батареї акумуляторів біля $3,5/0,8 \approx 4,4$ кВт·год. Одночасно слід врахувати й таку важливу особливість. У дні осінньо-зимового сезону із поганою погодою акумуляторна батарея практично не буде заряджатися протягом світлової частини доби. Оскільки у цей період часто такі дні будуть іти неперервно, то одним із технічних рішень даної проблеми – взяти ємність батареї акумуляторів із суттєвим запасом, наприклад, подвійним. Тоді ще виправдана проектна величина ємності може бути прийнятою біля 10 кВт·год. У подальших розрахунках врахуємо два ці варіанти: ємність буферної акумуляторної батареї 5 кВт·год або 10 кВт·год.

Для обґрунтованих вище граничних електричних параметрів легко розрахувати необхідну для автономної СЕС стандартну ємність акумуляторної батареї:

$$\text{1-й варіант } W_A = (5,0 \text{ кВт}\cdot\text{год}) / (48 \text{ В}) \approx 100 \text{ А}\cdot\text{год.}$$

$$\text{2-й варіант } W_A = (10,0 \text{ кВт}\cdot\text{год}) / (48 \text{ В}) \approx 200 \text{ А}\cdot\text{год.}$$

Таким чином, оптимальним умовам автономної роботи сонячної електростанції для типового домогосподарства відповідає літєва акумуляторна батарея ємністю біля 100 А·год із робочою напругою 48 В. Оптимальною конструкцією даної акумуляторної батареї є набір універсальних літій-залізо-фосфатних гальванічних елементів. Оскільки такої ємності акумулятори мають велику вагу, то для полегшення процесу монтажу і обслуговування акумуляторної батареї доцільно змонтувати останню у вигляді двох незалежних акумуляторів із робочою напругою 24 В та однаковою ємністю 100 А·год. Базові проектні експлуатаційні параметри й характеристики даних акумуляуючих приладів наведено в табл. 5.3 [9].

У випадку прийняття більш тривалих термінів неперервної роботи автономної СЕС у періоди з малою сонячною інсоляцією таких акумуляторів слід взяти 4 штуки.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Таблиця 5.3 – Експлуатаційні характеристики акумуляторів Challenger LF24-100T [9]

Параметр	Значення параметра
Тип	Challenger LF24-100T
Максимальний вихідний струм (до 30 с)	100 А
Максимальний струм заряду	40 А
Робочий струм заряду	20 А
Робоча напруга	24 В
Напруга повного заряду	Біля 30 В
Середня кількість робочих циклів	3000
Втрата ємності після 3000 робочих циклів	Біля 20 %
Температура зовнішнього середовища	Від -20 °С до + 40 °С
Загальна вага	Біля 30 кг
Вартість	Біля 1000 Євро

За інформацією фірми-виробника, літій-залізо-фосфатний акумулятор Challenger LF24-100T – це акумуляторна батарея нового покоління сучасних літєвих акумуляторів на літій-залізо-фосфатній основі. Для таких акумуляторів характерна значно більша щільність електричної енергії на одиницю маси, ніж для звичайних свинцево-кислотних. Водночас, дані прилади більш стабільні та безпечні при використанні, у порівнянні з Li-ion батареями. Суттєвою перевагою Challenger LF24-100T є також і гарантований термін їх служби – у середньому біля 10 років.

Повний очікуваний життєвий період вибраних літій залізо-фосфатних батарей досягає до 8000 циклів заряду-розряду. При цьому очікується зниження їх енергетичної ємності приблизно до 50 % від початкової. Крім того, із-за відсутності відчутного ефекту пам'яті, дані акумуляторні батареї дозволяють при необхідності в окремих випадках проводити і практично 100 % розрядку. Позитивною рисою Challenger LF24-100T є також висока швидкість заряджання та розряджання на споживача.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Для аналізованих батарей характерний і досить низький саморозряд (біля 3 % на місяць), висока щільність електричної енергії, відносно невеликі габаритні розміри і вага. Вони ефективно працюють як при високих, так і при низьких температурах.

Зарядження літій залізо-фосфатних батарей відбувається, як правило, постійним струмом. Однак для цього не обов'язково застосовувати дорогі інтелектуальні зарядні пристрої. Достатньо скористатися і звичайним простим пристроєм, який керує лише струмом зарядження.

5.3 Контролер заряду батареї акумуляторів

Згідно з проведеними теоретичними розрахунками в попередніх підрозділах роботи, нам слід застосувати в автономній СЕС надійний контролер заряду акумуляторних батарей на робочу напругу 48 В із максимальним струмом зарядження біля 40 А. Відповідно, нам слід підібрати на ринку контролер заряду акумуляторів від СП з робочою вхідною напругою системи до 80 В та максимальним вхідним струмом не менше 50 А. Враховуючи необхідність відбору від СП автономної СЕС максимальної потужності в окремі осінньо-зимові дні з поганою погодою, доцільно вибрати для використання МРРТ-контролер (див. розділ 1).

Такі сучасні контролери мають ряд позитивних рис:

- ефективне керування віл вбудованого високопродуктивного інтегрального контролера DSP;
- висока швидкодія при знаходженні точки максимальної потужності, яка в кілька разів вища, ніж у контролерів інших типів;
- можливість автоматичного визначення робочої напруги батареї (24 В, 48 В, або 72 В);
- наявність надійного електронного захисту від підвищеного вихідного струму зарядження, перенавантаження та перегріву пристрою;

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

- заздалегідь проінстальовані виробником різні програми проведення процесу заряду для свинцево-кислотних, вентильованих гелевих та літєвих акумуляторів;

- при необхідності легко встановлюються параметри заряду акумуляторів у ручному режимі.

Алгоритм керування процесом заряджання акумуляторів у таких контролерах передбачає проведення всіх 3 стадій зарядки для досягнення як оптимальної роботи акумуляторів, так і їх тривалої експлуатації.

У процесі пошуку контролера, який відповідає поставленим умовам проектування, виявлено нову цікаву розробку для сонячних електростанцій – комплексні інтегральні пристрої, які поєднують в одному корпусі два електронні модулі контролера і інвертора. Серед різних комерційних пропозицій таких приладів для вирішення поставленої технічної задачі оптимальним варіантом є модель контролера Conext SW 4048 120/240. Серед базових сервісів даного контролера, які доступні оператору, можна відзначити:

- зручне налаштування інтерфейсу користувача через вбудований дисплей;

- наявність системи керування освітлення дисплея з внутрішнім незалежним таймером;

- доступне просте гнучке ручне налаштування більшості власних параметрів контролера та процесу зарядки акумуляторів;

- можливість підключення контролера до ПК для неперервного або періодичного моніторингу роботи сонячної електростанції та налаштування режимів зарядки;

На рис. 5.1 наведено зовнішній загальний вигляд вибраного приладу, а в таблиці 5.4 – його основні параметри та характеристики. У свою чергу, у таблиці 5.5 наведено основні параметри лише контролерного електронного модуля даного приладу. Вони характеризують основні електричні з'єднання пристрою як із СП сонячної електростанції, так і з акумуляторною батареєю та інверторним перетворювачем.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48



Рисунок 5.1 – Загальний вигляд контролер-інверторів серії Conext SW [10]

Таблиця 5.4 – Експлуатаційні характеристики та параметри приладів серії Conext SW [10]

Параметр	Значення параметра
Тип	Conext SW 4048 120/240
Стандарт та сертифікація	UL 1741, CSA C22.2 No 107.1
Температура зовнішнього середовища	Від -20°C до $+60^{\circ}\text{C}$
Вологість	Менше 95 %, без конденсації
Умови експлуатації	Закрите приміщення
Тип монтажу	Настінний
Габаритні розміри: висота, ширина, глибина	387 мм, 343 мм, 197 мм
Клас електричного захисту	IP20
Загальна вага	Біля 31кг
Вартість	Біля 2500 Євро

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Таблиця 5.5 – Експлуатаційні характеристики контролерного модуля приладу Conext SW 4048 120/240 [10]

Параметр	Значення параметра
Максимальний вихідний струм	110 А
Діапазон вхідної напруги на СП для забезпечення заряду акумуляторів	Від 40 В до 80 В
Точність контролю напруги заряду акумуляторів	$\pm 0,2$ В
Максимальна потужність СП	4,8 кВт
Температура в корпусі для включення вентилятора	Більше + 45 $^{\circ}$ C
Температура в корпусі для виключення вентилятора	Менше + 40 $^{\circ}$ C
Температура включення теплового захисту	Більше +75 $^{\circ}$ C
ККД	Біля 92 %
Вихідний струм спрацювання захисту	Більше 100 А
Напруга захисту від перезаряджання	62 В
Напруга відключення акумулятора від споживачів	Менше 42 В
Діапазон напруги для автоматичного визначення типу акумулятора	Від 20 В до 60 В
Клас електричного захисту	IP21

Відповідно до алгоритму функціонування контролера Conext SW 4048, ним виконуються такі основні операції:

- вимірювання часу з початку процесу зарядки;
- вимірювання текучих значень напруги і струму на акумуляторі;
- зміна величин струму та напруги заряджання в залежності від вимірних текучих значень; параметрів акумулятора;

- повторення циклів розряд-заряджання, у тому числі і при необхідності відновлення ємності акумулятора;
- заряджання лише до 90 % ємності акумулятора для забезпечення збільшення терміну його служби.

Алгоритм визначення системою автоматичного керування оптимальної робочої точки на вихідній ВАХ сонячної електростанції з максимальною вихідною потужністю полягає в неперервному вимірюванні миттєвих значень сили вихідного струму і вихідної напруги електростанції. Після цього проводяться розрахунки текучої вихідної потужності СЕС. За результатами розрахунків вхідні кола контролера регулюють величини вихідного струму і напругу СЕС таким чином, щоб її робоча точка на ВАХ поступово зміщувалась у напрямку збільшення вихідної потужності для споживачів.

5.4 Інверторний електронний модуль контролер-інверторів серії Conext SW

Інверторний електронний модуль вибраного сучасного комбінованого приладу Conext SW 4048 120/240 за вхідними та вихідними характеристиками повністю задовольняє умови, які поставлені в завдання для проектування. Про це свідчать дані, які наведені в табл. 5.6.

При проектуванні електронної частини САК сонячної електростанції слід враховувати особливості функціонування контролера-інвертора Conext SW. Вони полягають у тому, що при попаданні частини СП в зону затінення, то це негативно впливає на загальний процес генерації електричної енергії всіма силовими модулями СЕС, які підключені до даного контролера-інвертора. При цьому не лише різко падає ефективність роботи сонячної електростанції, а й страждають від перегріву самі СП. Тому введення в САК автономної СЕС кількох давачів параметрів функціонування кожної СП та їхніх температур відповідає необхідності контролю таких негативних режимів.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Таблиця 5.6 – Експлуатаційні характеристики інверторного модуля приладу
Conext SW 4048 120/240

Параметр	Значення параметра
Мережа змінного струму	Однофазна
Форма вихідної ЕРС	Чиста синусоїда
Частота вихідної ЕРС	50 Гц або 60 Гц (програмується)
Вихідна ЕРС	240 В
Вихідна потужність в неперервному режимі	3,4 кВт
Вихідна потужність у квазіперіодичному режимі	4,0 кВт протягом 30 хвилин
Імпульсна вихідна потужність	7,0 кВт протягом 5 с
Максимальний вихідний струм	40 А
Параметр	Значення параметра
Діапазон вихідних напруг додаткового генератора (режим зарядки акумулятора)	Від 135 В до 240 В
Вихідний струм додаткового генератора (режим зарядки акумулятора)	Біля 13 А.
Час перемикання режимів	Біля 17 мс
ККД	Біля 92 %
Клас електричного захисту	IP21

Слід врахувати, що якщо на одній з СП СЕС падає вироблення електричної енергії, то контролер-інвертор Conext SW 4048 120/240 підлаштовується під струмові характеристики цієї панелі. Тобто, МРРТ модуль міняє параметри своїх електричних кіл під не оптимальні режими роботи. Завдяки можливості реалізації таких ситуацій неконтрольовані втрати електричної енергії від СЕС можуть бути досить суттєві і перевищувати 40 %. Додаткові інформаційні датчики САК якраз і дозволяють розпізнавати такі випадки. При їхній відсутності до одного контролера-інвертора Conext SW 4048 слід підключати лише однаково освітлені генеруючі СП.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Для монтажу всіх компонентів автономної СЕС в єдину енергетичну систему необхідно також використати цілий ряд механічних конструкцій та зовнішніх електричних кабелів. Для проектування таких елементів слід ввести до аналізу досить великий об'єм додаткової технічної інформації:

- місце, габаритні розміри та особливості розміщення СП;
- тип приміщення для монтажу акумуляторів, електронних модулів та системи керування СЕС;
- наявність та тип мобільних систем комунікації та електричних мереж;
- особливості розміщення та монтажу додаткового резервного генератора на зрідженому газі;
- інші конструкційні дані.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

6 РОЗРОБКА СХЕМ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ АВТОНОМНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

6.1 Аналіз схеми енергетичних потоків

Надалі врахуємо розроблену вище структурну електричну схему автономної електростанції, вихідні дані завдання для проектування, проведений аналіз режимів функціонування СЕС та інструктивні рекомендації виробників щодо монтажу базового обладнання, які наведені на рис. 6.1. На основі таких комплексних даних розглянемо головні енергетичні лінії між різними компонентами сонячної електростанції та проаналізуємо схему її енергетичних потоків. Результати даного аналізу наведено у вигляді конструкторських документів до роботи, розміщених в додатках.

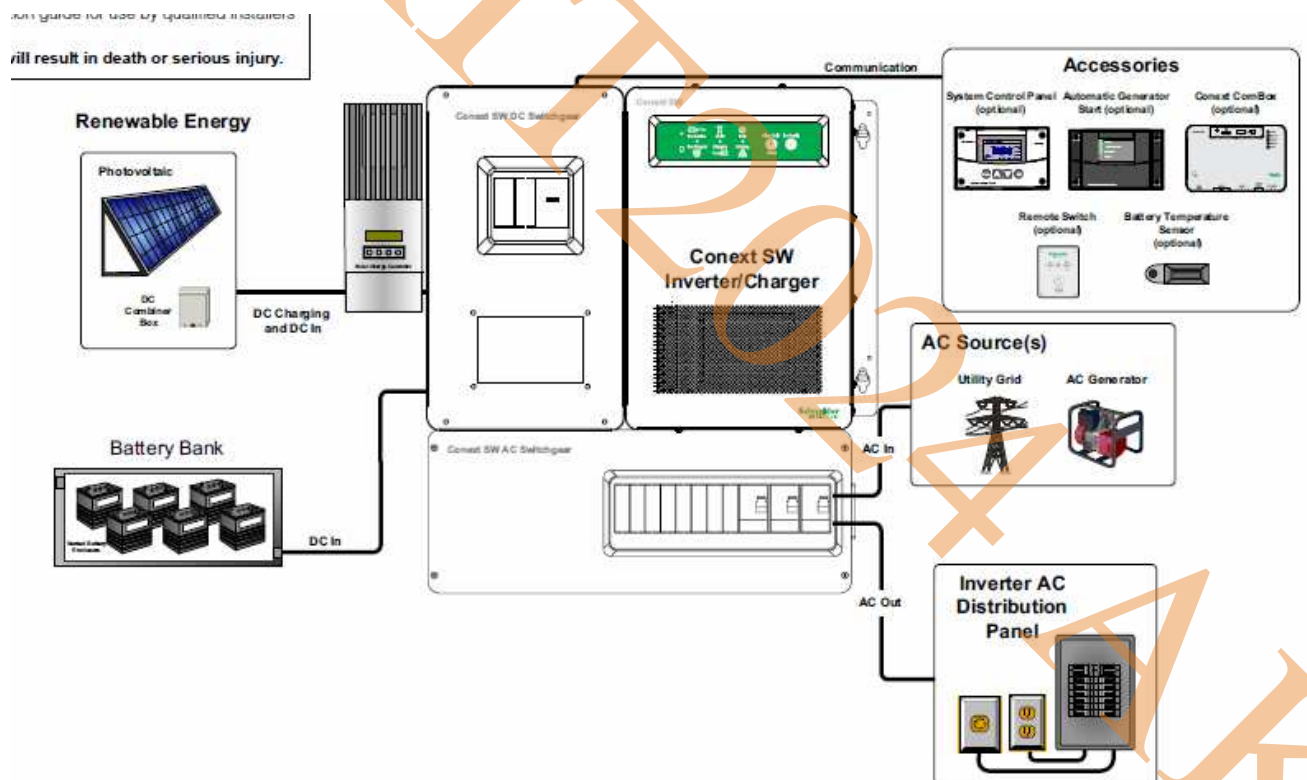


Рисунок 6.1 – Умовна схема монтажу електричних з'єднань між базовими фкомпонентами автономної сонячної електростанції

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Відповідно до розробленого графічного матеріалу, основним джерелом електричної енергії СЕС є генеруючий модуль із комплексу шести СП панелей. Робочі його режими мають діапазон вихідних ЕРС від 50 В до 80 В та зміни величини вихідного постійного струму від кількох ампер до пікових значень біля 50 А.

Отриманий від СП енергетичний потік проходить через силові кола контролера, який керує напрямками подальшого переносу енергії. Першочерговим завданням для контролера є надійне забезпечення електричною енергією всіх споживачів, Для цього він скеровує енергетичний потік достатньої потужності від СП в інвертор. Параметри даного потоку визначаються сумарною величиною текучої споживаної потужності всіма електричними приладами домогосподарства. При цьому граничною межею такого режимом роботи контролера є пропускання ним всієї генерованої потужності СП до споживачів через інвертор.

Якщо СП СЕС генерують потужність більшу, ніж це потрібно для текучого функціонування споживачів, то контролер залишки електричної енергії автоматично направляє на проведення зарядки акумуляторної батареї. Такий заряджаючий енергетичний потік контролер підтримує з параметрами напруги зарядки в діапазоні від 50 В до 70 В та силою струму зарядки в діапазоні від 1 А до 30 А. Дані параметри відповідають оптимальним величинам для різних режимів заряджання акумуляторів.

Якщо загальної потужності СП СЕС стає недостатньо для живлення споживачів домогосподарства, то контролер переключає весь вихідний енергетичний потік електростанції на канал зарядки акумуляторів, Одночасно інвертор переходить у новий режим роботи, коли енергія до нього поступає від клем акумуляторної батареї. При цьому до інвертора підключається єдиний канал енергії, який інтегрує як потужності СП, так і потужності акумуляторної батареї. Такий енергетичний потік має напругу в діапазоні від 46 В до 52 В та може передавати силу струму до 70 А.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

При величині інтенсивності сонячного освітлення меншій за 100 Вт/м^2 , сила вихідного струму модуля СП стає недостатня для підтримання оптимальних робочих параметрів всієї електростанції. Тому у стандартному режимі генеруючий сонячний модуль відключається контролером від системи живлення споживачів. Автоматично інвертор повністю переходить на генерацію електричної енергії споживачам від акумуляторної батареї, якщо енергетичний запас у ній не вичерпано до граничного рівня розрядки і ще відповідає встановленим величинам. Такому режиму СЕС відповідає конфігурація системи живлення, наведена на рис.6.2.

У випадку розряджання батареї акумуляторів до певного встановленого граничного режиму розряду, САК електростанцією заздалегідь видає сигнал, за яким оператор або господар повинен приймати рішення про вихід з такої ситуації. Зокрема, можна ввести в дію резервний однофазний генератор змінного струму на природному газі. Для проєктованої електростанції такий генератор має мати потужність, не меншу 4 кВт.

tions. Instructions for installing the
in guide for use by qualified installers
It result in death or serious injury.

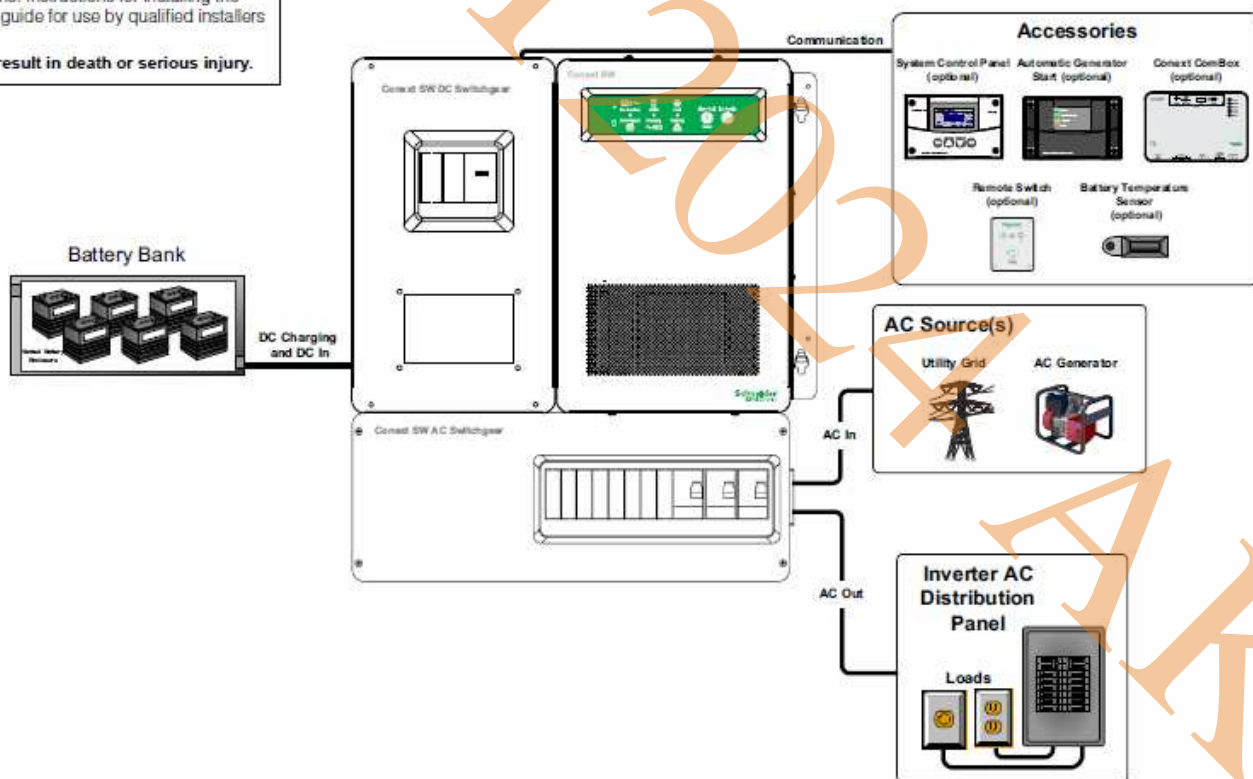


Рисунок 6.2– Основні енергетичні лінії між базовими компонентами автономної СЕС при живленні виключно від акумуляторної батареї

					KMP.AKIT.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Іншою граничною ситуацією є такий режим, коли СП генерують енергії значно більше, ніж потрібно для споживачів та для заряджання акумуляторів. У даному випадку СП не працюють з повною енергетичною віддачею. Такі режими можуть стати основними під час літнього періоду. Тому, для уникнення простою обладнання СЕС, влітку можна передбачити для даних ситуацій автоматичне підключення до СП додаткових споживачів електричної енергії: нагрівачі системи гарячого водопостачання домогосподарства, підігрів води в басейні, періодична робота різних електричних інструментів та інше. Однак, детальний аналіз даних питань може стати предметом додаткових досліджень іншої кваліфікаційної роботи.

Відповідно з вибраними раніше базовими приладами, інвертор автономної СЕС може надавати споживачам енергетичний потік у вигляді стандартного однофазного змінного струму з робочою напругою від 200 В до 240 В та максимальною силою до 30 А.

Одночасно, електронний контролер має окремий енергетичний канал живлення споживачів постійного струму. У ньому передбачено кілька ліній з робочими напругами 12 В, 24 В та 48 В. Максимальна вихідна сила неперервного струму для цих ліній рівна 10 А.

6.2 Аналіз схеми інформаційних потоків та вибір компонент системи автоматичного керування

Для автоматизації роботи СЕС у різних режимах вона обладнана значною кількістю датчиків. Сигнали від них у вигляді інформаційних потоків надходять до центру системи автоматичного керування (САК). Функціональні завдання цієї системи у випадку автономної сонячної електростанції сформулюємо відповідно до розробленої раніше структурної схеми. Зокрема, вони мають обов'язково включати:

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

1. Контроль параметрів електричної енергії, генерованої кожною СП автономної електростанції. Такий контроль здійснюватиме окремий модуль із системи датчиків, розміщених на панелях силового модуля (додаток структурної схеми (СС).

2. Контроль та обробку інформаційних параметрів сумарної електричної енергії, генерованої всією СЕС. Такий контроль покладено на окремий інформаційний модуль І1 (додаток СС).

3. Неперервний контроль енергетичного стану акумуляторної батареї та процесів протікання її заряду й розряду. Дану функцію виконуватиме інформаційний модуль І2 (додаток СС).

4. Інформаційний модуль І2 одночасно має забезпечувати й контроль сили струму розряду акумуляторної батареї протягом тих часових інтервалів, коли вона виступає основним джерелом енергії для споживачів.

5. Контроль основних параметрів електричної енергії, яку використовують у домогосподарстві всі споживачі змінного струму. Цю функцію покладено на ще один інформаційний модуль І3 (додаток СС).

6. Використання споживачами енергії постійного струму буде контролювати інформаційний модуль І4 (додаток СС)

7. Крім описаних вище базових операцій контролю параметрів різних енергетичних каналів СЕС на САК покладено також функцію найпростішої математичної статистичної обробки тих даних, які поступають від всіх інформаційних модулів.

8. Ще однією важливою функцією САК є передача операторові базової поточної інформації про роботу електростанції та вчасне оповіщення про виникнення в ній нештатних ситуацій.

Задля детального аналізу параметрів сигналів кожного з описаних вище інформаційних блоків САК, доцільно скласти загальну таблицю інформаційних потоків у СЕС. Такий набір даних представимо у вигляді опису вхідних та вихідних сигналів різних елементів САК. Згідно з існуючими вимогами до такої технічної документації, у таблиці наводитимемо наступну інформацію:

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

- характер кожного сигналу: його відображення, зберігання, сигналізація тощо;
- основні електричні параметри кожного сигналу;
- наявність та тип органів регулювання відповідного сигналу;
- перелік тих керуючих органів, які діють за даним сигналом;
- характеристика навколишнього середовища, у якому знаходяться як самі давачі, так і керуючі сигналом органи;
- інші важливі для аналізу інформаційні дані.

Враховуючи наведені вимоги складено таблицю вхідних та вихідних сигналів САК автономною СЕС у вигляді табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Опис сигналів основних інформаційних потоків, які наявні в САК СЕС

№	Параметр	Номінальне значення	Відображення	Керівний вплив	Середовище давача
1	Вихідна потужність СП	Від 200 Вт до 4000 Вт	Пряма індикація	Сигнал оператору	Закрите приміщення
2	Напруга на батареї акумуляторів	Від 42 В до 52 В	Пряма індикація	Сигнал оператору	Закрите приміщення
3	Сила струму зарядки акумуляторної батареї	Від 1 А до 30 А	Пряма індикація	Сигнал оператору	Закрите приміщення
4	Сила струму споживання від акумуляторної батареї	Від 0 А до 100 А	Пряма індикація	Сигнал оператору	Закрите приміщення
5	Потужність каналу споживачів змінного струму	До 7 кВт	Пряма індикація	Сигнал оператору	Закрите приміщення
6	Потужність каналу споживачів постійного струму	До 1 кВт	Пряма індикація	Сигнал оператору	Закрите приміщення

Із таблиці 6.1 слідує, що основою функціонування САК є набір інформаційних датчиків, які неперервно вимірюватимуть параметри всіх електричних енергетичних потоків СЕС, згідно з відповідною схемою (додаток схеми енергетичних потоків). Проаналізуємо поканально вимоги до кожного модуля цих датчиків та підберемо конкретні сучасні прилади, які відповідають встановленим вимогам згідно з табл. 6.1.

Канал інформаційного модуля П1. Параметри основного енергетичного потоку від генеруючого модуля СП електростанції мають вимірюватися неперервно протягом тривалості «світлого» періоду кожної доби року. Такому контролю підлягають вихідна робоча напруга, сила вихідного струму та вихідна потужність.

При виборі давача інформаційного сигналу для цього каналу слід враховувати таке:

- наявність комбінованого вимірювання всіх трьох параметрів;
- доцільність цифрового характеру вихідних сигналів;
- наявність контрольного інформаційного дисплея;
- можливість застосування і в інших енергетичних каналах з метою уніфікації САК;
- легкість комутування до модуля МК САК.

Відміченим вище умовам повністю відповідає сучасний інтелектуальний давач параметрів електричної енергії, запропонований у [12]. Це цифровий комбінований вольтметр-амперметр з вбудованим невеликим дисплеєм індикації на рідких кристалах. Прилад дозволяє синхронно неперервно вимірювати і напругу, і силу постійного струму. При цьому процес вимірювання сили струму проходить методом стандартного зовнішнього прецизійного шунта-резистора. Зміною номінального опору такого шунта можна регулювати верхню межу вимірювання сил струму. Розрахунок текучої потужності за такими двома вимірами можна покласти на МК САК.

Основні експлуатаційні параметри вольтметр-амперметр наведено в табл. 6.2. Одночасно на рис. 6.3 наведено базову монтажну схему підключення

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

даного приладу до САК автономною електростанцією. Ця схема відповідає положенню інформаційного модуля П1 на розробленій структурній схемі (додаток документів роботи).

Таблиця 6.2 – Основні експлуатаційні характеристики амперметра-вольтметра [12]

Параметр	Значення параметра
Діапазон вимірювання напруги	Від 0 до 100 В
Відносна похибка вимірювання напруги	Не більше 0,5 %
Діапазон вимірювання сили струму (для шунта із комплекту приладу)	Від 0 до 100 А
Відносна похибка вимірювання сили струму	Не більше 1 %
Діапазон робочих температур	Від -10° до +65°
ЕРС живлення (можна забезпечувати від вхідного енергетичного каналу)	Від 4 В до 30 В
Діагональ дисплея	Один дюйм
Геометричні розміри	48 мм; 29 мм; 22 мм
Зовнішній вигляд разом із шунтом	
Вартість	Біля 5 Євро

Як видно із рис. 6.3, для живлення вимірювального приладу необхідно передбачити окрему енергетичну лінію, оскільки напруги від модуля СП можуть бути більшими, ніж допустима верхня межа діапазону ЕРС, яка рівна 40 В. Таку лінію доцільно організувати від батареї акумуляторів через окремий лінійний стабілізатор напруги на 12В, Відмітимо також, що вибраний вольтметр-амперметр має надійний електронний захист кіл вимірювання сил струму від режиму

короткого замикання (гранична сила струму для спрацювання захисту лежить біля 150 А).

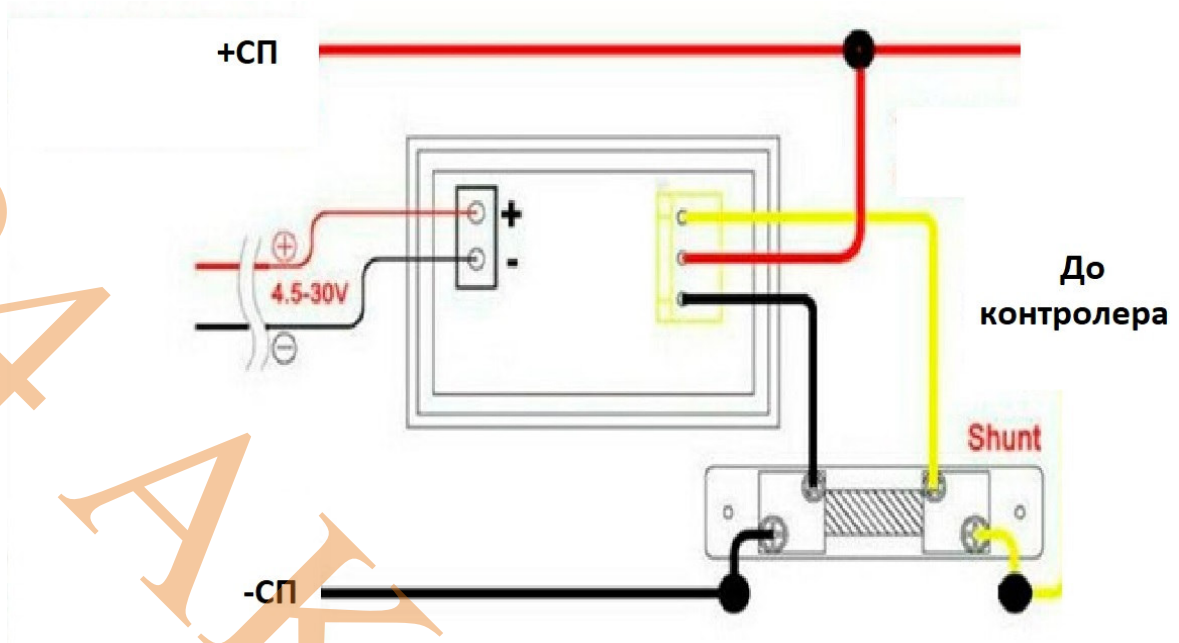


Рисунок 6.3 – Схема підключення амперметра-вольтметра в електричне коло енергетичного потоку від модуля

Канал інформаційного модуля I2 повинен забезпечувати вимірювання електричних параметрів двох енергетичних потоків постійного струму:

- заряджання акумуляторної батареї;
- струм живлення зовнішніх споживачів від батареї.

Граничні межі зміни вказаних параметрів цих двох потоків повністю відповідають експлуатаційним характеристикам розглянутого вище амперметра-вольтметра (див. позиції пунктів 2, 3 та 4 табл. 6.1). Тому для уніфікації електричних схем САК використаємо два такі прилади при побудові інформаційного модуля I2. При цьому один прилад буде вимірювати напругу на акумуляторній батареї та силу струму її заряджання, а другий прилад – силу струму розряду батареї та споживану потужність від неї у процесі живлення зовнішніх споживачів. Відповідно з таким технічним рішенням монтажна схема введення двох приладів у вимірювальний модуль I2 та підключення даного модуля в канали енергетичних потоків батареї акумуляторної наведена на рис. 6.4.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

У ній передбачено використання контролера в якості керуючого пристрою. Вимірювання потужності електричного струму в обох каналах передбачається також методом розрахунків МК САК.

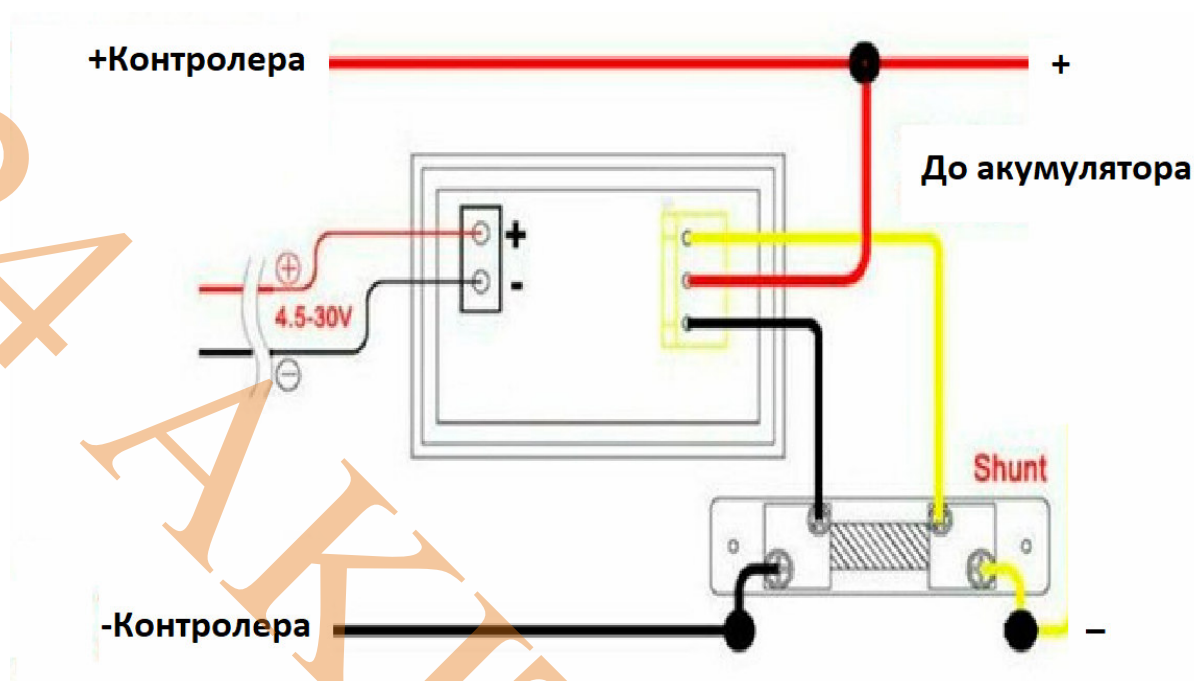


Рисунок 6.4 – Схема комутації інформаційного модуля I2 в канали енергетичних потоків акумуляторної батареї через контролер

Канал інформаційного модуля I3. Цей інформаційний модуль відповідає за неперервний контроль і вимірювання параметрів потужності постійного електричного струму, який забезпечує енергією всі пристрої домогосподарства безпосередньо від виходу модуля СП або від акумуляторної батареї. Граничні межі зміни параметрів даного енергетичного потоку цілком відповідають експлуатаційним параметрам вже використаного нами раніше амперметра-вольтметра (див. схеми додатків до роботи). Таким чином, модуль I3 може бути спроектованим за аналогією до модуля I1 і зі схемою монтажу, яка відповідає рис. 6.3.

Канал інформаційного модуля I4 відрізняється від інших тим, що забезпечує контроль і вимірювання параметрів стандартного мережевого однофазного змінного струму частотою 50 Гц. Проектним параметрам

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

енергетичних потоків каналу такого змінного струму (додатки до роботи) повністю відповідаю сучасний інтелектуальний датчик електричної енергії [13] фірми Keweisi KWS-AC300. Важливою особливістю такого приладу є можливість вимірювання не лише напруги, сили струму та потужності електричної енергії, а додатково ще й температури та часу проходження в каналі енергетичного потоку. Це дозволяє суттєво розширити функціональні можливості САК автономної СЕС введенням у неї додаткового каналу контролю температури СП та нової функції підрахунку інтервалів часу активної роботи сонячної електростанції протягом кожної доби. Позитивною рисою приладу KWS-AC300 є також функція запам'ятовування всіх параметрів його початкової інсталяції навіть при відключенні зовнішнього джерела живлення.

Основні параметри інтелектуального давача KWS-AC300 наведені в табл. 6.3, а його загальний зовнішній вигляд – на рис. 6.5.

Слід відмітити наявність у прилада KWS-AC300 хорошої сервісної властивості – його кольоровий дисплей на рідких кристалах з хорошим оглядом індикованих даних.

Підключення давача електричного струму KWS-AC300 до енергетичної електричної лінії здійснюється безконтактно за допомогою спеціального не рознімного кільцевого сенсора – трансформатора змінного струму із зовнішнім робочим діаметром біля 33 мм. Однак, описаний прилад має і суттєвий недолік – його виносний давач температури розрахований на малу довжину інформаційного кабеля, яка не перевищує 40 см.

Таблиця 6.3 – Основні експлуатаційні характеристики приладу KWS-AC300 [13]

Параметр	Значення параметра
Діапазон вимірювання змінної напруги	Від 50 В до 300 В
Діапазон вимірювання сили змінного струму	Від 0 до 100 А
Діапазон вимірювання потужності	Від 0 до 30 кВт
Діапазон вимірювання спожитої електроенергії	Від 0 до 20 МВт·год

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Продовження таблиці 6.3

Параметр	Значення параметра
Діапазон встановлення часу вимірювань	Від 0 до 200 год
Діапазон вимірювання температури виносним зондом	Від -10 ° до +100 °
Геометричні розміри блоку	8,5 см; 4,3 см, 2 см
Вага	Біля 50 г
Вартість	Біля 5 Євро



Рисунок 6.5 – Загальний вигляд датчика KWS-AC300[13]

Відмітимо також, що датчик KWS-AC300 може бути використаний і для розширення функцій САК автономною електростанцією. Для цього рекомендуємо ввести ще один такий додатковий інформаційний модуль у силовий канал енергетичного потоку змінного струму від зовнішнього генератора на природному газі. Це дозволить контролювати стан і параметри функціонування додаткової важливої частини автономної енергетичної електричної системи домогосподарства.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

6.3 Проектування загальної монтажної схеми електростанції та розрахунок її орієнтовної вартості

Використовуючи наведені вище матеріали теоретичного аналізу та розрахунків, спроектуємо монтажну схему САК автономної СЕС, яка наведена в додатках до роботи.

Важливим завдання кваліфікаційної роботи є спрощений економічний розрахунок орієнтовної вартості СЕС із спроектованою САК. Для цього базові економічні показники, які отримані при виконанні роботи, зведемо в загальну таблицю 6.4.

Таблиця 6.4 – Розрахунок орієнтовної ринкової вартості автономної СЕС із САК

Компонент електростанції	Орієнтовна вартість компонента, євро
Модуль із 6 СП	600
Контролер-інвертор	2500
Батарея із 4 акумуляторів	4000
Інформаційні модулі	100
Промисловий контролер Simens	400
Система дистанційного контролю, керування та обробки даних	300
Конструкційні та комутаційні компоненти, проект	1000

Підсумовуючи наведені вище економічні дані, отримуємо сумарну орієнтовну вартість автономної СЕС з середньою добовою потужністю до 5 кВт біля 9000 євро або біля 450 000 грн за цінами на період кінця 2024 року. Це відповідає сумарній вартості електричної енергії для побутових споживачів на текучий період загальним об'ємом біля 75 МВт·год. Для порівняння можна показати, що такій вартості відповідає проведення повітряної однофазної

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

електричної мережі на напругу до 400 В довжиною біля 2 км. Такі економічні дані можуть бути орієнтиром для вибору одного з варіантів електричного живлення: сонячна електростанція чи підведенням до домогосподарства стандартної однофазної електричної мережі змінного струму.

Враховуючи також загальне розраховане середнє добове енергоспоживання домогосподарства біля 5 кВт·год, можна очікувати самоокупності побудованої автономної електростанції без змін в майбутньому тарифів на електричну енергію протягом 30 років. Якщо ж врахувати при цьому прогнозоване в майбутньому підвищення тарифів на електроенергію у кілька разів, то термін самоокупності може зменшитися приблизно до 10 років. У випадку ж встановлення кабельної мережі змінного струму слід витратити аналогічні кошти і крім того платити кожного року біля 300 – 400 євро за електроенергію.

Із наведених розрахунків також слідує, що у базову вартість автономної СЕС основний вклад вносять акумуляторні батареї та контролер-інвертор, на які припадає більше половини фінансових затрат. Тому на здешевшення саме цих електронних компонент слід звернути особливу увагу при розвитку сонячної електроенергетики в майбутньому.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

ВИСНОВКИ

У результаті виконання магістерської роботи:

1. Проведено аналіз особливостей, перспектив і проблем розвитку автономних сонячних електростанцій. У результаті проведеного аналізу визначено основні задачі, які слід розв'язати при виконанні кваліфікаційної роботи.

2. На основі бази метеорологічних даних зроблено розрахунки мінімальної середньодобової генерованої електроенергії стандартною сонячною панеллю в умовах міста Ужгорода в осінньо-зимовий період.

3. Для визначення параметрів проектованої автономної електростанції зроблено аналіз базових середньодобових витрат електроенергії типовим домогосподарством.

4. Розроблена структурна електрична схема автономної сонячної електростанції відповідно до завдання на виконання кваліфікаційної роботи. Схема містить модуль сонячних панелей, модуль об'єднаних контролера-інвертора, акумуляторну батарею, канали живлення зовнішніх споживачів змінним та постійним струмом, резервний генератор на зрідженому газі та САК сонячною електростанцією.

5. Згідно з технічними характеристиками автономної СЕС зроблено вибір сучасних компонентів для неї.

6. Проведено аналіз схеми основних енергетичних потоків, які реалізуються в СЕС при різних режимах її функціонування.

7. Визначено набір інформаційних електронних модулів САК, які здійснюють контроль енергетичних потоків автоматичної СЕС.

8. Спроектована загальна монтажна схеми автономної електростанції з САК.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

9. Розрахована орієнтована вартість проекту та проаналізовані його базові економічні показники.

9. Основні технічні параметри спроектованої автономної СЕС із САК:

- вихідні енергетичні канали: стандартний змінний струм, постійний струм +5 В, +12 В, та +24 В.

- робоча середня вихідна потужність – 4 кВт;

- максимальна вихідна потужність (тривалістю до 10 хвилин) – 7 кВт;

- резервне джерело електроенергії – генератор на зрідженому газі;

- САК на основі промислового контролера фірми Siemens.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Вербицький Є. В. Енергозбереження і енергоефективність. Конспект лекцій для студентів напрямку підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи». - К.: НТУУ“КПІ”, 2014. – 106 с.

2. Іваницький В.П., Лукша О.В., Чичура І.І. Ресурсозберігаюча енергетика: підручник. – Ужгород: УжНУ, 2023. – 100 с.

3. Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data for Solar Energy Applications: Second Edition. Edited by Manajit Sengupta, Aron Habte, Christian Gueymard, Stefan Wilbert, Dave Renné, and Thomas Stoffel / National Technical Information Service. 5301 Shawnee Road Alexandria, VA 22312.

4. Електронний ресурс – режим доступу: <https://www.meteoblue.com/ru/%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B0/historyclimate/weatherarchive>.

5. Ivanitsky, V. P., Ryaboschuk, M. M., Stojka, M. V., Tiutiunnykov, S. V. Astronomical and geographical model for programming microcontrollers of ground-based trackers. Science and education a new dimension. Natural and Technical Sciences, 2021, no. 255, pp. 11-13.

6. Електронний ресурс – режим доступу: https://energy.in.ua/files/lp182_m_72_mh_530_550w_ua_2.pdf.

7. Електронний ресурс – режим доступу: https://brandsolar.com.ua/p1646821378-solnechnaya-monokristallicheskaya-panel.-html?source=merchant_center&gclid=CjwKCAjwrJ-BhB7EiwAuyBVXY9AtU7YGaywXHDniSM2zsQxtGpoWFIGU-KKJhaHhtHFtpIfOycFRoCfG0QAyD_BwE.

8. Електронний ресурс – режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D0%B1%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B5%D1%8F.

9. Електронний ресурс – режим доступу: <https://i-energy.com.ua/ua/p1426494130-litievuj-tyagovuj-akkumulyator.html>.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

10. Електронний ресурс – режим доступу: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/7654-conext-xw/#overview>.

11. Електронний ресурс] – режим доступу: <https://sayanukr.com.ua/ua/p1413610090-komplekt-solnechnoj-elektrostantsii.html>.

12. Електронний ресурс – режим доступу: <https://fd24.com.ua/p1690584007-tsifrovoj-voltmetr-ampermetr.html>.

13. Електронний ресурс – режим доступу: <https://voltik.com.ua/ua/p-1555176613-tsifrovoj-voltmetr-ampermetr.html>.

					КМР.АКІТ.11287351.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71