

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка побутової гібридної сонячної електростанції

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

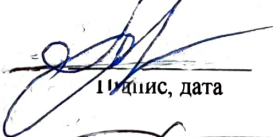
Шифр МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТМ-23-1


Підпис

Грудінін В.І.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

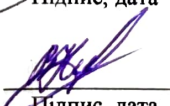
проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

доц. Тимощук О.Г.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:


Підпис, дата

доц. Неймак В.С.
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

17 12 2024 р.

Хмельницький 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту і архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Освітній рівень магістр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
Шифр і назва
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Шифр і назва
Освітня програма «Електропобутова техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

к.т.н. доц. Неймак В.С.

 . 12 . 2024р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Грудінін Володимир Ігорович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка побутової гібридної сонячної електростанції

керівник роботи проф. Поліщук О.С.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26 08 2024 р. № 60

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____
3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики гібридного інвертора живлення

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. 2. Розробка побутової гібридної сонячної електростанції 3. Розробка інформаційної системи для аналізу за роботою побутової гібридної сонячної електростанції. Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1. Гібридна сонячна електростанція. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Структурна схема гібридної сонячної електростанції. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 3. Система контролю за роботою гібридної сонячної електростанції. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 4. Річний графік виробленої електроенергії гібридною сонячною електростанцією. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 5. Режими роботи гібридної сонячної електростанції. Документ ілюстраційний (A1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|-------------------------------|----------|
| 1. <u>Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи</u> | до 28.10.24р. | |
| 2. <u>Розробка побутової гібридної сонячної електростанції</u> | до 15.11.24р. | |
| 3. <u>Розробка інформаційної системи для аналізу за роботою побутової гібридної сонячної електростанції</u> | до 17.11.24р. | |
| 4. <u>Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу</u> | до 22.12.24р. | |
| | | |
| | | |
| | | |

Студент


Підпис

В.І. Грудінін
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

О.С. Поліщук
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові _____ Грудинін Володимир Ігорович _____
2. Тема магістерської роботи Розробка побутової гібридної сонячної електростанції _____
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____
4. Об'єм магістерської роботи: креслень 6 арк., сторінок записки 72

5. Розробка сонячних електростанцій є надзвичайно актуальною в умовах глобального зростання попиту на енергоефективні й екологічно чисті рішення. Вони дозволяють підвищити стабільність енергопостачання, мінімізувати викиди вуглецю й інтегрувати відновлювані джерела в сучасну енергетичну інфраструктуру. Гібридні системи сприяють сталому розвитку, забезпечуючи надійне та ефективне енергозабезпечення для сучасного суспільства.

В магістерській роботі запропоновано ефективне технічне рішення для створення сучасної побутової гібридної сонячної електростанції, здатної забезпечити стабільне енергопостачання та оптимізувати витрати на енергоспоживання завдяки інноваційним підходам у проєктуванні та моніторингу системи. В першому розділі проведено всебічний аналіз сучасного стану сонячної енергетики. В другому розділі представлено розробку побутової гібридної сонячної електростанції. Обґрунтовано використання гібридного інвертора Easun 3,5 кВт-WIFI 100 А MPPT 230 В, який поєднує функції інвертора, зарядного пристрою MPPT та акумуляторного контролера, забезпечуючи високу ефективність і стабільність роботи. Надамо чіткий порядок дій для встановлення інвертора, підключення сонячних панелей, акумуляторів та інших компонентів системи. Третій розділ присвячений створенню інформаційної системи, яка забезпечує контроль та аналіз роботи побутової гібридної сонячної електростанції.

Підпис студента _____ 

" 17 " 12 20 24 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 6 від " 31 " 12 20 24 р.

Оцінка проєкту ЕК Відмінно!
Рекомендації ЕК _____

Особливі відмітки _____



Технічний секретар _____ 

" 31 " 12 20 24 р.

ЗМІСТ

| | стор |
|---|------|
| Вступ | 6 |
| 1 Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи | 8 |
| 1.1 Характеристика ринку сонячної енергетики | 8 |
| 1.2 Стан та перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні | 12 |
| 1.3 Аналіз темпів зростання світового ринку сонячної енергетики | 15 |
| 1.4 Компоненти сонячної електростанції | 19 |
| 1.5 Типи сонячних електростанцій | 27 |
| 1.6 Робота станції за умовами «зеленого тарифу» | 30 |
| 1.7 Висновки до першого розділу | 31 |
| 2 Розробка побутової гібридної сонячної електростанції | 33 |
| 2.1 Підбір гібридного інвертора для сонячної електростанції | 33 |
| 2.2 Робота гібридної сонячної електростанції | 36 |
| 2.3 Встановлення та підключення гібридного інвертора живлення Easun 3,5 кВт-WIFI 100 A MPPT 230 В | 40 |
| 2.4 Опис режиму роботи гібридного інвертора | 46 |
| 2.5 Монтаж побутової гібридної сонячної електростанції | 49 |
| 2.6 Висновки до другого розділу | 50 |
| 3 Розробка інформаційної системи для аналізу за роботою побутової гібридної сонячної електростанції | 51 |
| 3.1 Огляд та аналіз роботи гібридної сонячної електростанції | 51 |
| 3.2 Аналіз основних показників побутової гібридної сонячної електростанції | 56 |
| 3.3 Висновки до третього розділу | 67 |

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | Літера | Арквш | Арквшів |
|----------|------|----------|---|------|-----------------|-------|---------|
| Виконав | | Грудінін |  | | м | 4 | 73 |
| Перевір. | | Поліщук |  | | | | |
| Н.контр. | | | | | ХНУ гр.ЕТм-23-1 | | |
| Затвер. | | Неймак | | | | | |

| | |
|--------------------------|----|
| Висновки | 68 |
| Перелік джерел посилання | 70 |
| Додаток А | 73 |

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 5 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

ВСТУП

Альтернативна енергетика передбачає використання відновлюваних природних джерел енергії, таких як сонце, вода та вітер. Ще в давнину люди застосовували енергію природи: обігрівалися багаттями, опалювали печі дровами, нагрівали воду сонячним теплом і використовували силу проточної води у водяних млинах.

Сонячна енергетика полягає у перетворенні сонячного випромінювання на електричну чи теплову енергію. Основою цього процесу є сонячні панелі, відомі як фотоелектричні модулі, що генерують електричний струм завдяки напівпровідниковим матеріалам, таким як кремній. Під впливом сонячного світла фотони вибивають електрони в сонячних клітинах, створюючи постійний електричний струм. Для збільшення потужності кілька таких клітин об'єднують у панелі [1].

Для ефективного використання сонячної енергії потрібна відповідна інфраструктура: сонячні панелі, інвертори (для перетворення постійного струму на змінний), акумулятори (для збереження енергії) та системи розподілу електроенергії. Збір енергії можливий на дахах будівель, земельних ділянках, у великих сонячних фермах або енергетичних парках. Сонячна енергетика швидко розвивається завдяки технологічному прогресу, що знижує вартість обладнання та підвищує його ефективність. Вона застосовується як у масштабних мережах так і в невеликих приватних системах. Поєднання сонячної енергетики з іншими відновлюваними джерелами сприятиме створенню стабільної та екологічно чистої енергетики майбутнього.

Розробка сонячних електростанцій є надзвичайно актуальною в умовах глобального зростання попиту на енергоефективні й екологічно чисті рішення. Вони дозволяють підвищити стабільність енергопостачання, мінімізувати викиди вуглецю й інтегрувати відновлювані джерела в сучасну енергетичну

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | 6 |

інфраструктуру. Гібридні системи сприяють сталому розвитку, забезпечуючи надійне та ефективне енергозабезпечення для сучасного суспільства.

В магістерській роботі запропоновано ефективне технічне рішення для створення сучасної побутової гібридної сонячної електростанції, здатної забезпечити стабільне енергопостачання та оптимізувати витрати на енергоспоживання завдяки інноваційним підходам у проєктуванні та моніторингу системи.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 7 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ТЕМАТИКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Характеристика ринку сонячної енергетики

Сонячна енергетика сьогодні є однією з найперспективніших і привабливих галузей, оскільки вона представляє собою екологічно чисте і відновлюване джерело енергії. Цей вид енергетики відповідає сучасним глобальним тенденціям, спрямованим на декарбонізацію та боротьбу зі зміною клімату. Використання сонячної енергії сприяє зменшенню викидів парникових газів і знижує залежність від викопного палива.

Однією з найбільших переваг сонячної енергетики є її стійкість до цінових коливань, характерних для інших джерел енергії, таких як нафта та природний газ. Вартість електроенергії, що виробляється за допомогою сонячних панелей, залишається стабільною протягом тривалого періоду. Технології генерації сонячної енергії стрімко вдосконалюються та дешевшають, що робить цей вид енергії все більш конкурентоспроможним у порівнянні з традиційними джерелами. За останнє десятиліття ціна сонячних панелей знизилася на понад 80%, і ця тенденція, як очікується, збережеться у майбутньому [1].

Сонячна енергетика являє собою отримане від сонця тепло і світло, тобто електромагнітне випромінювання, що включає теплові хвилі (інфрачервоні промені), світлові та радіохвилі. Ці види енергії поглинаються панелями з фотоелементами або теплообмінником.

Перетворення сонячної енергії в електричну здійснюється двома способами. Перший – це використання фотоефекту, коли енергія фотонів передається електронам у матеріалі, створюючи електричний струм. Другий спосіб – перетворення енергії фотонів на потенційну енергію розширення робочого тіла, наприклад пари, яка приводить у рух турбіну для обертання генератора. Подібного погляду дотримуються Бубенчиков А. А., В. О. Молодих

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | 8 |

Загалом, сонячна енергетика приваблює як інвесторів, так і споживачів завдяки своїй екологічній чистоті, стабільності витрат, технологічному прогресу та державній підтримці. Ці фактори роблять її однією з найперспективніших галузей для подальшого дослідження та розвитку.

Світовий ринок сонячної енергетики демонструє значне зростання в останні роки, що зумовлено технологічними досягненнями, які сприяли зниженню витрат, а також державною політикою багатьох країн, спрямованою на підтримку розвитку і впровадження відновлюваних джерел енергії. Подібно до інших видів відновлюваної енергетики, сонячна енергетика користується перевагами фіскальних та регуляторних стимулів, таких як податкові пільги, звільнення від сплати податків, пільгові тарифи, знижені процентні ставки та добровільні програми зеленої енергії, що діють у багатьох країнах. Попри великий технічний потенціал, впровадження технологій сонячної енергії у глобальному масштабі стикається з низкою технічних, фінансових і регуляторних перешкод. Для подальшого розвитку ринку може знадобитися продовження політики підтримки впродовж наступних десятиліть як у розвинених країнах, так і в країнах, що розвиваються. Ринок сонячної енергетики охоплює комплекс економічних відносин, що включає виробництво, оптовий і роздрібний продаж, а також споживання сонячної енергії. Він охоплює всі аспекти, пов'язані з виготовленням сонячних панелей, інверторів, акумуляторів, інших компонентів сонячних систем, а також наданням послуг з їх встановлення та технічного обслуговування.

Структура ринку сонячної енергетики включає такі основні елементи:

- Виробники – компанії, що займаються розробкою, виробництвом та реалізацією сонячних панелей, інверторів, акумуляторів та інших компонентів, необхідних для функціонування сонячних систем.
- Оптові торговці – підприємства, які закупають сонячні компоненти у виробників і здійснюють їх перепродаж інсталяторам і дистриб'юторам.

| | | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|----------------------|------|
| | | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | | 10 |

- Інсталюатори – компанії, що спеціалізуються на проектуванні, встановленні та обслуговуванні сонячних систем для різних категорій клієнтів: житлових, комерційних і промислових.

- Дистриб'ютори – організації, які реалізують сонячні компоненти та системи безпосередньо кінцевим споживачам.

- Споживачі – приватні особи та компанії, які купують і використовують сонячні системи для виробництва електроенергії, забезпечуючи свої власні енергетичні потреби [5].

Держава відіграє ключову роль у розвитку ринку сонячної енергетики, виконуючи такі функції: створює нормативно-правову базу для регулювання виробництва, реалізації та використання сонячних систем; забезпечує податкові пільги, субсидії та інші стимули для стимулювання зростання ринку; фінансує дослідження та розробки, спрямовані на вдосконалення новітніх сонячних технологій.

Основні сегменти ринку сонячної енергетики включають:

- Ринок сонячних панелей – найбільший сегмент, який охоплює виробництво, реалізацію та встановлення сонячних панелей.

- Ринок інверторів – пристрої, що перетворюють постійний струм, вироблений сонячними панелями, на змінний струм, який використовується у побутових і комерційних приладах.

- Ринок акумуляторів – забезпечує зберігання сонячної енергії для використання вночі або під час перебоїв з електропостачанням.

- Ринок сонячних систем для житлових будівель – охоплює продаж та встановлення сонячних систем для приватних домогосподарств.

- Ринок сонячних систем для комерційних будівель – передбачає продаж та встановлення систем для офісних будівель, шкіл, магазинів та інших комерційних об'єктів.

- Ринок сонячних систем для промислових підприємств – включає продаж та встановлення систем, призначених для промислових об'єктів [5].

За останні роки вартість сонячних панелей та інших компонентів сонячних систем суттєво знизилася, що зробило сонячну енергетику більш доступною для споживачів. Це зумовлено зростанням усвідомлення важливості скорочення викидів парникових газів і необхідності захисту довкілля. Сонячна енергія є екологічно чистим джерелом, яке не сприяє зміні клімату.

Уряди різних країн активно підтримують розвиток цієї галузі, пропонуючи різноманітні стимули та субсидії.

Отже, ринок сонячної енергетики має значний потенціал для подальшого розвитку. Використання сонячної енергії позитивно впливатиме на стан навколишнього середовища та здоров'я людей.

1.2 Стан та перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні

В Україні функціонує значна кількість сонячних електростанцій різного масштабу – від невеликих підприємств до великих комерційних проєктів. Зокрема, є кілька електростанцій потужністю понад 100 МВт, які успішно виробляють і постачають електроенергію до енергосистеми країни.

Уряд України активно сприяє розвитку сонячної енергетики, запроваджуючи державні програми підтримки відновлюваних джерел енергії. Ці програми передбачають стимули для інвесторів та сприяють укладанню довгострокових контрактів на продаж електроенергії, виробленої сонячними електростанціями.

Сонячна енергетика відіграє важливу роль у забезпеченні енергетичної безпеки України. Відповідно до Енергетичної стратегії України на період до 2035 року під назвою "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність", частка відновлюваної енергетики має досягти 25% від загального обсягу виробництва електроенергії.

Усі регіони України мають потенціал для будівництва сонячних електростанцій, проте найсприятливішими для цього є південні області, такі як

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | 12 |

По-друге, в Україні створені сприятливі умови для інвестицій в альтернативну енергетику завдяки законодавству. "Зелений" тариф, за яким держава закупає всю електроенергію, вироблену сонячними електростанціями, є одним з найвищих у Європі. У квітні 2019 року було прийнято закон про "зелені" аукціони, що сприятиме конкуренції та запобіганню монополізації у відновлюваній енергетиці. По-третє, Україна має великі можливості для інвестицій в альтернативну енергетику. Країна володіє різноманітними запасами сировини і кваліфікованою робочою силою з необхідними технічними знаннями для впровадження новітніх технологій у цій сфері.

По-четверте, постійне зростання вартості електроенергії робить інвестиції у власну генерацію електрики економічно виправданими. Вартість виробництва електроенергії за допомогою сонячної енергії вже майже зрівнялася з вартістю традиційних джерел енергії.

Сонячна енергетика є популярним відновлюваним джерелом енергії в Україні, тому існує кореляція між розташуванням сонячних електростанцій і рівнем сонячної активності. Основна увага зосереджена на регіонах з найвищим рівнем сонячного випромінювання. На карті нижче (рис. 1.7) показано щорічну суму глобального опромінення (ліворуч) та щорічну суму сонячної електроенергії, згенерованої системою потужністю 1 кВт з коефіцієнтом корисної дії 0,75 (праворуч) [6].

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | 14 |

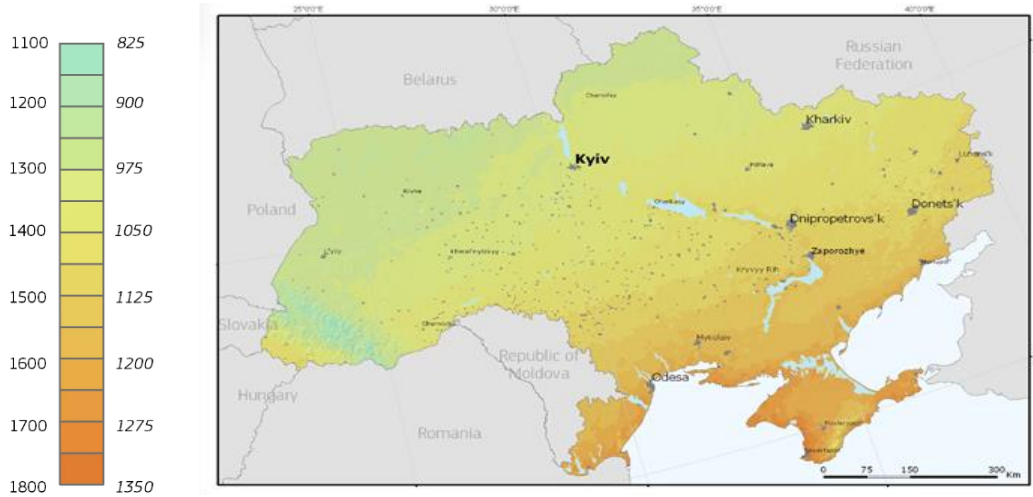


Рисунок 1.7 – Випромінювання і потенціал сонячної енергії в Україні.

1.3 Аналіз темпів зростання світового ринку сонячної енергетики

Темпи зростання світового ринку сонячної енергетики є одними з найшвидших серед усіх секторів відновлюваної енергетики. Хоча конкретні показники можуть змінюватися щороку та залежати від регіону, середні річні темпи зростання можуть становити від 10% до 30% або навіть більше, залежно від ринкових умов і технологічного прогресу.

За даними Міжнародного агентства з відновлюваної енергетики (IRENA), у 2023 році встановлена потужність сонячних електростанцій у світі зросла на 18,5% у порівнянні з 2022 роком [7].

Протягом останніх десяти років середньорічні темпи зростання встановленої потужності сонячних електростанцій у світі склали 32% [8]. Це значно перевищує темпи зростання інших видів відновлюваної енергетики, таких як вітрова та гідроенергетика.

Ми розробили середньострокові та довгострокові прогнози зростання світового ринку сонячної енергетики до 2030 і 2050 років (рис. 1.2, рис. 1.3).

| | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |

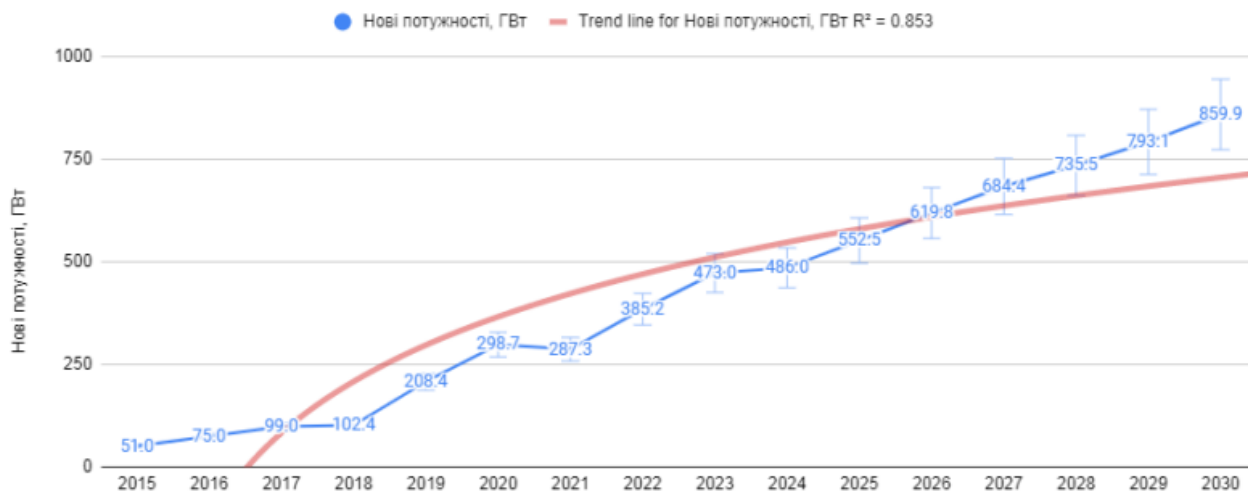


Рисунок 1.2 - Середньостроковий прогноз зростання світового ринку сонячної енергетики до 2030, ГВт

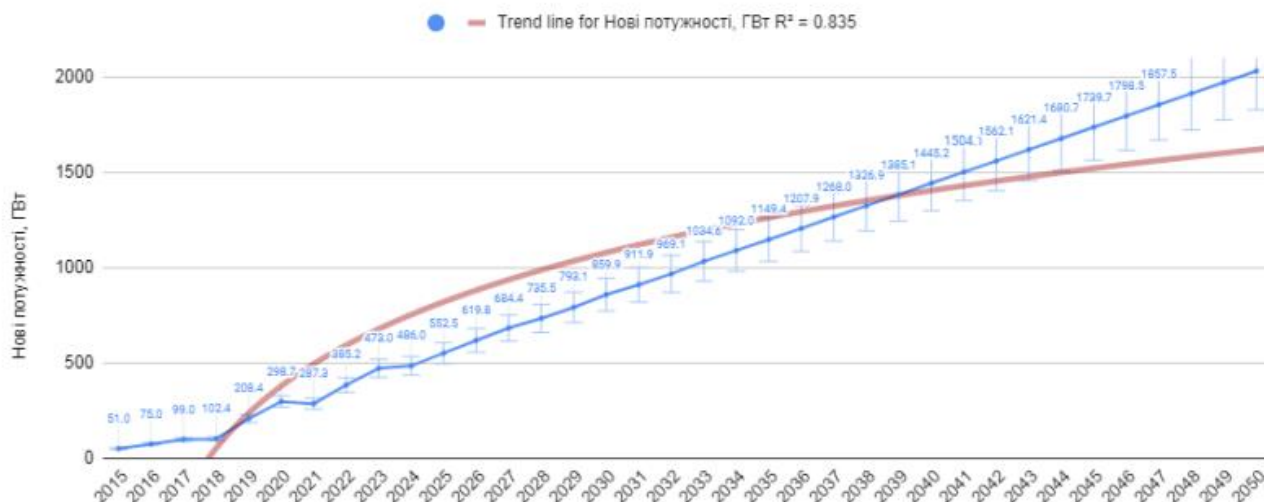


Рисунок 1.3 - Довгостроковий прогноз зростання світового ринку сонячної енергетики до 2050, ГВт

З огляду на зростаючий попит на відновлювані джерела енергії в усьому світі, очікується, що ринок сонячної енергетики продовжить своє зростання в найближчі роки. Уряди багатьох країн активно беруть участь у програмах і ініціативах, спрямованих на стимулювання встановлення сонячних

| | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |

енергосистем у промисловому секторі. Крім того, урядова підтримка у вигляді субсидій і податкових пільг є важливим фактором розвитку цього ринку. Також багато компаній у галузі починають розглядати виробництво сонячної енергії як безризикову та доступну бізнес-модель.

За прогнозами експертів, високі темпи зростання світового ринку сонячної енергетики збережуться в найближчі роки. Зокрема, за оцінками Міжнародного енергетичного агентства (IEA), до 2025 року середньорічні темпи зростання встановленої потужності сонячних електростанцій становитимуть близько 15% [9].

Прогнозні показники зростання світового ринку сонячної енергетики за період з 2022 до 2032 рр. у вартісному вираженні показані на рис. 1.4.

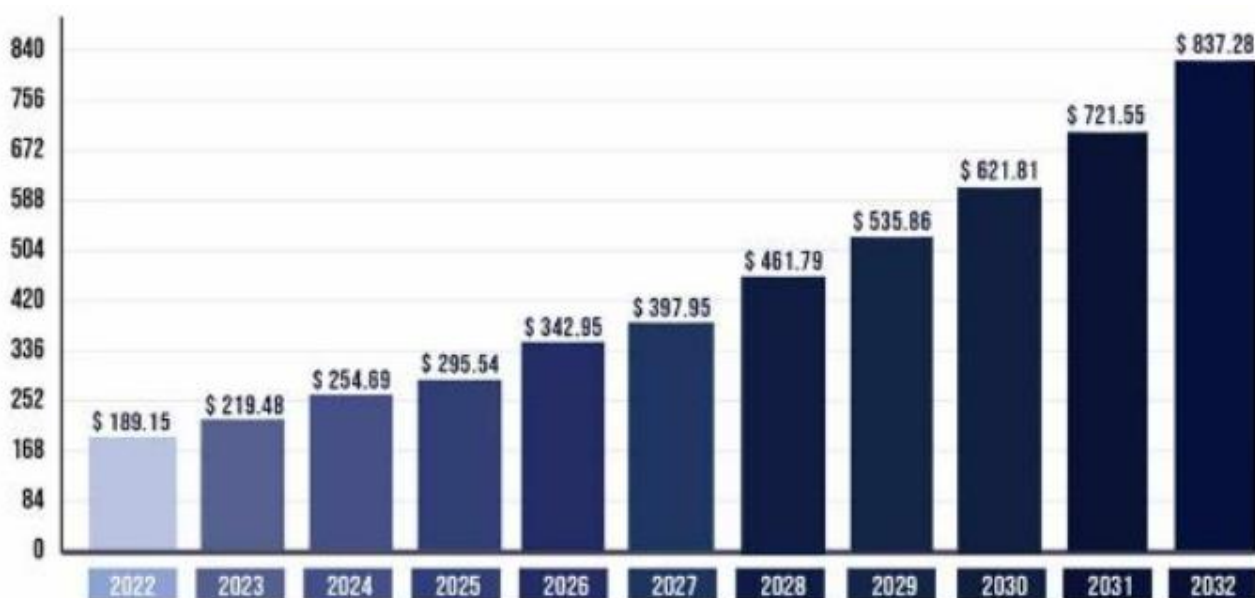


Рисунок 1.4 - Прогнозні показники зростання світового ринку сонячної енергетики за період з 2022 до 2032 рр., млрд дол США

На рисунку 1.4 видно, що у 2022 році світовий ринок сонячної енергетики досяг 189,15 млрд доларів США. За прогнозами, до 2032 року цей показник зросте до приблизно 837,28 млрд доларів США, що означає середньорічний темп зростання у 16,04% протягом прогнозованого періоду з 2024 по 2032 рік.

Основні фактори, що сприяють зростанню світового ринку сонячної енергетики, включають зниження вартості технологій, зростаючий попит на електроенергію, урядову підтримку відновлюваної енергетики та збільшення інвестицій у цю галузь [10].

Варто зазначити, що темпи зростання світового ринку сонячної енергетики варіюються залежно від регіону. Найвищі темпи зростання спостерігаються в Азії, особливо в Китаї та Індії, тоді як у Європі та Північній Америці вони дещо нижчі [11].

Регіональний розподіл ринку сонячної енергетики у 2022 році показано на рис. 1.5.

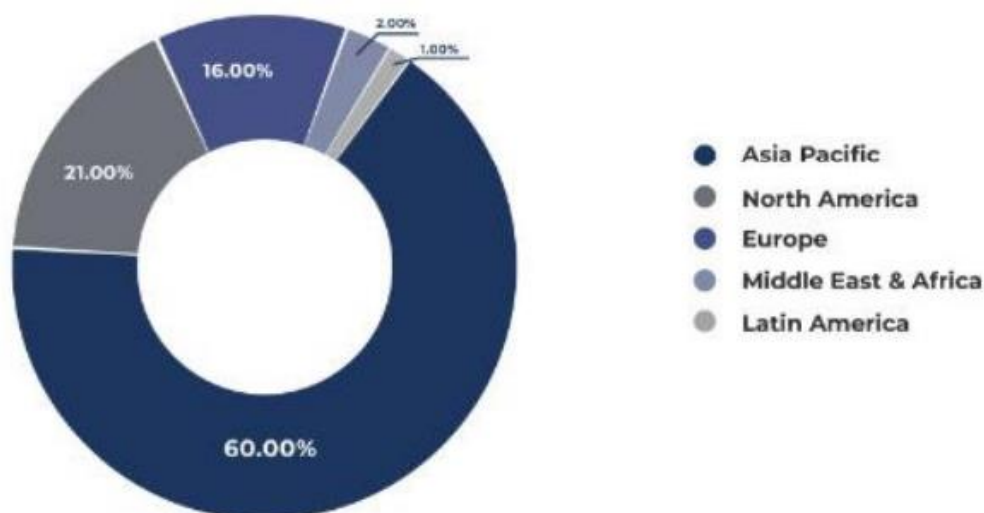


Рисунок 1.5 - Регіональний розподіл ринку сонячної енергетики у 2022 році, %

Хоча галузь сонячної енергетики продовжує розвиватися і має великий потенціал для подальшого зростання, вона ще не досягла стадії зрілості. Підвищення ефективності та економічності сонячних систем, а також зростання усвідомлення переваг відновлюваних джерел енергії можуть продовжити етапи зростання та перерозподілу ринку у цій галузі в найближчі роки.

| | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |

Стадія зростання характеризується швидким збільшенням обсягів виробництва та продажів, появою нових учасників на ринку, вдосконаленням технологій і зниженням витрат [12]. Ці ознаки чітко простежуються на світовому ринку сонячної енергетики останніми роками.

1.4 Компоненти сонячної електростанції

1.4.1 Фотоелектрична батарея

Фотоелектричні батареї складаються з модулів, виготовлених на основі кремнієвих кристалів. Залежно від сфери використання, конструкція та потужність сонячних модулів можуть варіюватися. Основне призначення фотоелектричних батарей – забезпечення автономного електроживлення. Вони класифікуються за структурою кремнієвих атомів у кристалі сонячного елемента: монокристалічні, полікристалічні та аморфні.

Монокристалічні батареї виготовляють із високочистого кремнію, який широко застосовується у напівпровідниковій промисловості. Оптимальною кількістю елементів для побутових модулів є 36. Такі батареї найпоширеніші завдяки своєму коефіцієнту перетворення енергії (КПЕ), який становить 14–17%.

Полікристалічні батареї створюються із кремнію, отриманого шляхом повільного охолодження розплавленого матеріалу. Цей процес менш енергоємний і економічний. Для таких батарей характерний яскраво-синій колір, а їхній КПЕ становить 10–12% [13].

Аморфні батареї виготовляють за технологією "випарної фази", яка передбачає нанесення тонкого шару кремнію на підкладку із захисним покриттям. Через цю особливість їх називають тонкоплівковими. Виробництво таких батарей є дешевим і простим, проте їх ефективність значно нижча, а елементи схильні до деградації. Тонкоплівкові батареї ефективно працюють при

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | 19 |

розсіяному сонячному світлі й зазвичай монтуються на стінах будівель. Їхній КПЕ становить 5–6%.



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд фотоелектричних батарей різного типорозміру і потужності

1.4.2 Акумуляторна батарея (АКБ)

Акумуляторні батареї великої ємності є важливою частиною фотоелектричних систем і не потребують регулярного обслуговування. Вони гарантують стабільну якість роботи та збереження функціональних властивостей протягом усього встановленого строку служби.

Акумулятор (від латинського слова *accumulator* – "збирач", яке походить від *accumulo* – "накопичувати, збирати") – це пристрій, призначений для зберігання енергії з метою її подальшого використання. Фотоелектричні батареї ефективно працюють лише при наявності сонячного випромінювання. Але як забезпечити живлення вночі або під час похмурої погоди, коли робочий струм сонячних

| | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |

модулів суттєво знижується? Для цього електроенергія, що генерується протягом дня, накопичується в акумуляторних батареях.

Різні типи акумуляторів мають свої особливості, серед яких кількість циклів заряду-розряду, тривалість зберігання, ємність, габарити, діапазон робочих температур, швидкість зарядки, вартість та інші параметри (див. рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Акумуляторні батареї фотоелектричних систем

Акумуляторні батареї для фотоелектричних систем повинні відповідати ряду вимог: мати низький рівень саморозряду, бути здатними працювати в режимах глибокого розряду, ефективно функціонувати при малих струмах заряду, забезпечувати роботу при негативних температурах (для цілорічних систем) і мати мінімальні вимоги до обслуговування.

Акумулятори глибокого циклу суттєво відрізняються від стартерних акумуляторів, які використовуються в автомобілях і не підходять для потреб фотоелектричних систем. Стартерні акумулятори розраховані на короточасні пускові струми високої потужності і не пристосовані до низькострумових розрядів, через що швидко втрачають продуктивність. Вони не витримують

350 циклів при 100% глибині розряду, 550 циклів при 50% і до 1200 циклів при 30%.

Основними технічними характеристиками акумуляторів є їх вихідна напруга (зазвичай 12 або 24 В) і ємність, яка вимірюється в ампер-годинах (А·год). Ємність визначає, яку кількість енергії акумулятор здатний накопичити. Наприклад, батарея з напругою 12 В і ємністю 200 А·год здатна забезпечувати роботу пристроїв потужністю 1 кВт приблизно протягом двох годин [13].

1.4.3 Контролери заряду акумуляторних батарей

Контролери заряду акумуляторних батарей виконують важливу роль у фотоелектричних системах, забезпечуючи ефективне управління процесами заряду і розряду. Вони сприяють оптимальній роботі всіх компонентів системи, подовжують їх термін експлуатації та захищають від перевантажень і коротких замикань.

Основні завдання контролерів заряду включають:

- а) контроль і регулювання процесів заряду і розряду акумуляторних батарей, а також відображення їх стану;
- б) захист від перезаряду акумуляторів;
- в) запобігання глибокому розряду батарей;
- г) автоматичне увімкнення або вимкнення навантаження, якщо воно підключене через контролер.

Контролер заряду можна порівняти з клапаном у водопровідному крані, оскільки його основна функція - регулювати потік зарядного струму, що надходить від фотоелектричних модулів до акумуляторів. У автономних системах електропостачання з використанням акумуляторів наявність контролера заряду є обов'язковою умовою. Якщо акумулятор розряджається більш ніж на 50%, це значно скорочує його термін служби. З іншого боку,

перезаряд може спричинити надмірне нагрівання електроліту, виділення газів або навіть порушення герметичності батареї.

Для уникнення цих проблем контролери заряду оснащені функціями автоматичного відключення навантаження, якщо рівень заряду акумулятора стає критично низьким, а також припинення подачі струму від джерела енергії (наприклад, сонячних панелей або генератора) після досягнення повного заряду акумулятора. Відмінною характеристикою контролерів є їх алгоритми регулювання на завершальній стадії заряду, коли напруга батареї досягає максимально допустимого рівня [13].

Прості контролери виконують відключення джерела енергії при досягненні напруги близько 14,4 В для батареї з номінальною напругою 12 В (див. рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Контролери заряду акумуляторних батарей фотоелектричних систем

1.4.4 Інвертор напруги

Інвертори напруги – це пристрої, що перетворюють постійний струм напругою 12, 24, 36 або 48 В у змінний струм напругою 220 В із частотою 50 Гц,

що відповідає промисловим стандартам. Як джерела постійного струму для інверторів можуть використовуватися акумуляторні батареї, фотоелектричні панелі або вітрогенератори. Інвертор живиться від однієї або кількох акумуляторних батарей.

Акумулятори, що використовуються з інверторами, потребують регулярного заряджання. Заряджання може виконуватися за допомогою дизельних, бензинових чи газових генераторів, шляхом підключення до централізованої електромережі або через альтернативні джерела енергії.

Одне з найпоширеніших застосувань інверторів – використання їх як резервного або аварійного джерела змінного струму напругою 220 В. Підключивши інвертор до акумуляторної батареї та під'єднавши електроприлади до розеток на корпусі інвертора, можна забезпечити живлення практично будь-якої техніки або освітлення у приміщеннях. Це робить інвертори незамінними для використання в умовах, де відсутнє стабільне джерело електроенергії.

У ситуаціях, коли центральна електромережа функціонує, акумуляторні батареї заряджаються від фотоелектричних панелей. Проте, якщо постачання електроенергії з центральної мережі припиняється, активується автономна система електропостачання. Інвертор перетворює струм з акумуляторних батарей, забезпечуючи часткове або повне заміщення центрального енергопостачання. Це характерно для звичайних інверторів, які підключені до стаціонарних систем електропостачання. Після відновлення електропостачання з центральної мережі, розряджені акумуляторні батареї знову заряджаються від сонячних панелей. Після повного заряду акумуляторів, сонячні панелі стають тимчасово непотрібними, оскільки нема куди спрямовувати згенеровану електроенергію.

Гібридні інвертори, окрім заряджання акумуляторів, дозволяють використовувати надлишкову електроенергію, вироблену сонячними панелями або іншими альтернативними джерелами, направляючи її в загальну мережу.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | 25 |

Встановлення змішаних систем, які поєднують відновлювані джерела енергії з підключенням до промислової мережі за допомогою потужних гібридних інверторів, стає все більш популярним. На сьогодні така система є однією з найперспективніших (див. рис. 1.9). [13].

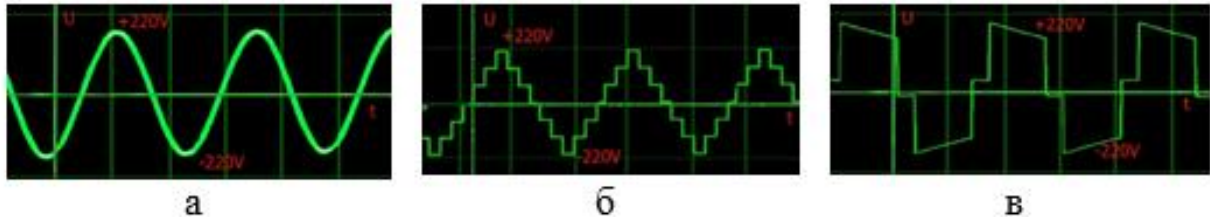


а – автономні; б – гібридні

Рисунок 1.9 – Інвертори напруги фотоелектричних систем:

За формою вихідного сигналу перетворювачі напруги розділяються на перетворювачі з:

- 1) чистою синусоїдою (рис. 1.10, а);
- 2) з модифікованою синусоїдою (рис. 1.10, б);
- 3) з псевдосинусоїдою (рис. 1.10, в).

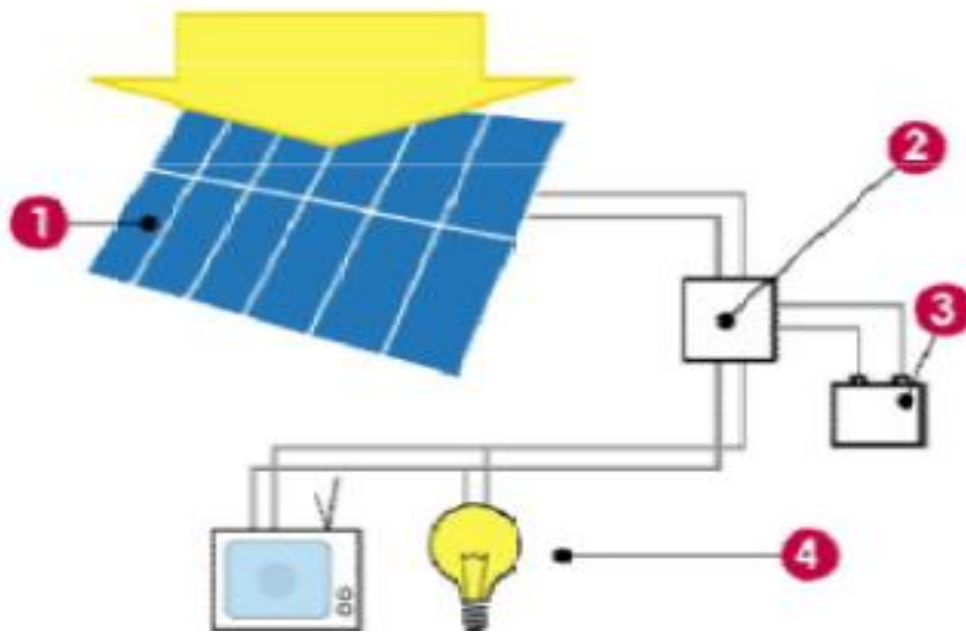


а – чиста синусоїда; б – модифікована синусоїда; в – псевдосинусоїда
Рисунок 1.10 – Форма вихідного сигналу перетворювача напруги:

1.5 Типи сонячних електростанцій

1.5.1 Автономна сонячна електростанція

Система функціонує таким чином: сонячне випромінювання перетворюється в електроенергію постійного струму за допомогою сонячних панелей, які підключені до контролерів заряду акумуляторних батарей (АКБ). У світлий час доби енергія накопичується в АКБ, а згодом використовується для живлення споживачів постійного струму. Ця система розроблена для автономного освітлення вулиць, живлення охоронних пристроїв і телекомунікаційного обладнання. Її використання для роботи в рамках «зеленого тарифу» не передбачено. Для забезпечення живлення пристроїв змінного струму на виході АКБ може бути встановлений DC/AC інвертор. (рис. 1.11) [14].



1 – фотоелектричні батареї; 2 – контролер заряду акумуляторних батарей + інвертор; 3 – акумуляторні батареї; 4 – навантаження

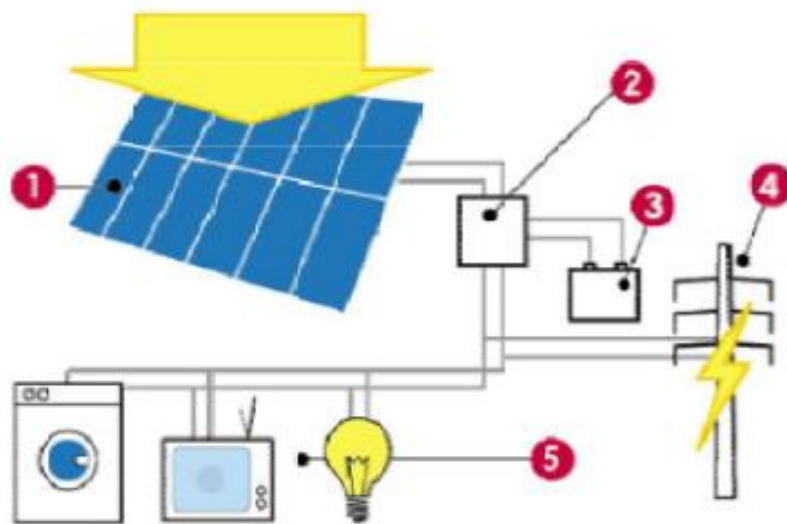
Рисунок 1.11 – Автономна фотоелектрична система:

1.5.2 Мережева сонячна електростанція

Система працює таким чином: сонячні батареї генерують постійний струм, який подається на вхід інвертора для перетворення в змінний струм. Вихід інвертора підключений до зовнішньої мережі змінного струму та споживачів. Електростанція функціонує за умови, що електроенергія із зовнішньої мережі доступна для користувачів, а напруга в мережі відповідає робочому діапазону інвертора. У світлий час доби, коли споживання електроенергії знижене, надлишкова енергія спрямовується в мережу за правилами «зеленого тарифу». У нічний та вечірній час електроенергія постачається із зовнішньої мережі. Така електростанція допомагає скоротити витрати на електроенергію, а при встановленні достатньої кількості сонячних панелей може забезпечувати прибуток від продажу надлишкової енергії, завдяки перевищенню її виробництва над споживанням. (рис. 1.12).

| | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |

АКБ. Надлишкова електроенергія надходить до зовнішньої мережі відповідно до умов «зеленого тарифу». Для забезпечення цього режиму потрібно встановити значну кількість сонячних панелей, щоб отримати достатню кількість енергії для зарядки АКБ. (рис. 1.13) [15].



1 – фотоелектричні батареї; 2 – контролер заряду акумуляторних батарей + гібридний інвертор; 3 – акумуляторні батареї; 4 – мережа;
5 – навантаження

Рисунок 1.13 – Гібридна фотоелектрична система:

1.6 Робота станції за умовами «зеленого тарифу»

Однією з ключових переваг приватних електростанцій є здатність забезпечувати автономне живлення для всього будинку, що дозволяє відмовитися від залежності від електроенергії, що постачається з ЛЕП. Крім того, надлишки електроенергії можна продавати за умовами «зеленого тарифу». «Зелений тариф» – це спеціальний механізм, що дозволяє приватним особам продавати надлишкову енергію за фіксованою вартістю. Щоб зрозуміти

| | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |

принцип роботи електростанції за цим тарифом, важливо розглянути етапи підключення і основні вимоги.

Підключення до «зеленого тарифу» не відбувається автоматично після підключення станції до ЛЕП чи укладення договору про продаж енергії. Скористатися цим тарифом можуть лише електростанції, які офіційно введені в експлуатацію та підключені до енергосистеми. Остаточна активація тарифу можлива лише після отримання ліцензії на виробництво електроенергії. Для оформлення «зеленого тарифу» необхідно надати наступний пакет документів:

- 1) «довіреність на представництво інтересів виробника (за необхідності);
- 2) пояснювальна записка з детальною інформацією про суб'єкт господарювання (форма власності підприємства, встановлені потужності генеруючого обладнання, характеристики генеруючого обладнання);
- 3) розрахунок витрат на виробництво електроенергії за встановленою формою;
- 4) обґрунтування статей та елементів витрат на виробництво (копії договорів, розрахунок витрат, пояснення до розрахунку, довідка про балансову вартість основних засобів станом на дату подання заяви);
- 5) пояснювальна записка до робочого проекту будівництва електростанцій;
- 6) копії технічних умов на підключення нових установок виробника електроенергії;
- 7) зареєстрована декларація про готовність об'єкта будівництва до експлуатації або свідоцтво, видане на підставі акта готовності до експлуатації;
- 8) копія розрахунку бюджету на реконструкцію, модернізацію й технічне переоснащення за рахунок власних або залучених коштів» [16].

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | 31 |

1.7 Висновки до першого розділу

В даному розділі здійснено аналіз розвитку сонячної енергетики. Розглянуто стан сонячної енергетики в світі, основні темпи розвитку та тенденції ринку сонячної енергетики в світі. Описано стан та перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні. Проведено аналіз темпів зростання світового ринку сонячної енергетики. Здійснено огляд основних компонентів сонячних електростанцій, а також розглянуто типи сонячних електростанцій. Описано принцип роботи станції за умовами «зеленого тарифу».

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 32 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

2 РОЗРОБКА ПОБУТОВОЇ ГІБРИДНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

2.1 Підбір гібридного інвертора для сонячної електростанції

Після огляду та аналізу існуючих на ринку гібридних сонячних електростанцій було прийнято рішення використовувати інвертор живлення Easun 3,5 кВт-WIFI 100 А MPPT 230 В.

Це багатофункціональний інвертор із чистою синусоїдальною хвилею, який поєднує в собі функції інвертора, сонячного зарядного пристрою MPPT і зарядного пристрою для акумулятора, щоб запропонувати вам безперебійну підтримку енергії з портативним розміром. А сонячний зарядний пристрій з максимальним струмом зарядки 100А [17].



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд інвертора живлення Easun 3,5 кВт-WIFI 100 А MPPT 230 В.



Рисунок 2.2 - Загальний огляд гібридного сонячного інвертора живлення Easun 3,5 кВт-WIFI 100 А MPPT 230 В

На рисунку 2.2 показано загальний огляд гібридного сонячного інвертора живлення Easun 3,5 кВт-WIFI 100 А MPPT 230 В:

1. автоматичний вимикач
2. вхід змінного струму
3. перемикач живлення
4. PV вхід
5. вихід змінного струму
6. вхід батареї

| | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.
34

7. порт зв'язку RS485 / RS232

8. LCD дисплей

9. індикатори статусу

10. функціональні кнопки

Технічні характеристики інвертора живлення Easun 3,5 кВт-WIFI 100 А
MPPT 230 В [18].

Номінальна потужність: 3500VA / 3500W

Вхід

1) Напруга: 230 В змінного струму

2) Діапазон вибору напруги: 170-280 В змінного струму (для ПК); 90-280V AC (для побутової техніки)

3) Частота: 50 / 60 Гц (автоматичне визначення)

Вихід

1) Регулювання напруги змінного струму (Batt.Mode): 230 В змінного струму $\pm 5\%$

2) Потужність від перенапруги: 7000 ВА

3) Пікова ефективність (PV до INV): 97%

4) Пікова ефективність (батарея до INV): 94%

5) Час передачі: 10Ms (для ПК); 20Ms (для побутової техніки)

6) Акумулятор і зарядний пристрій

7) Напруга батареї: 24V DC

8) Плаваюча напруга заряду: 27 В постійного струму

9) Захист від перезарядки: 33 В постійного струму

10) фМаксимальний зарядний струм: 80А

Сонячний зарядний пристрій

1) Потужність фотоелектричної панелі: 5000 Вт

2) Діапазон MPPT при робочій напрузі: 120 - 450 В постійного струму

3) Максимальна напруга холостого ходу фотоелектричної матриці: 500

В постійного струму

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | MPMA 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 35 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

- 4) Максимальний зарядний струм: 100А
- 5) Максимальний ККД: 98%
- 6) Навколишнє середовище
- 7) Діапазон робочих температур: 0 - 55 за Цельсієм
- 8) Температура зберігання: від -15 до 60 за Цельсієм
- 9) Вологість: від 5% до 95% RH (без конденсації)

2.2 Робота гібридної сонячної електростанції

Рисунок 2.3 показує гібридну сонячну електростанцію та її роботу:

- 1) Сонячні панелі (зліва вгорі) – генерують електроенергію від сонячного світла.
- 2) Гібридний інвертор (в центрі) – основний пристрій, який координує роботу системи. Він виконує функції:
 - Перетворення постійного струму (DC) від сонячних панелей або батарей у змінний струм (AC), необхідний для живлення побутових приладів.
 - Заряджання акумуляторів для збереження енергії.
 - Автоматичне перемикання між джерелами живлення.
- 3) Джерела живлення (зліва):
 - Генератор (жовтий пристрій) – додаткове джерело енергії у разі недостатнього живлення.
 - Електромережа – підключення до загальної електричної мережі як резервне джерело.
- 4) Акумуляторні батареї (внизу) – зберігають електроенергію для використання в нічний час або у періоди низької генерації.
- 5) Споживачі енергії (справа) – прилади, які живляться електроенергією, зокрема:
 - Кондиціонер або інші великі побутові прилади.

- Комп'ютер та сервер.
- Вентилятор або невеликі електричні пристрої.

У світлий час доби сонячні панелі забезпечують енергію для споживачів та заряджають батареї.

Якщо сонячної енергії недостатньо, система автоматично підключає генератор або електромережу.

У разі відсутності електромережі система переходить на акумуляторні батареї як резервне джерело живлення. Ця гібридна система поєднує сонячну енергію, акумулятори та інші джерела для забезпечення стабільного електропостачання [19].



Рисунок 2.3 – Схема роботи гібридної сонячної електростанції

| | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |

Загальні особливості гібридної системи:

1) Пріоритет джерел енергії:

- Сонячна енергія завжди використовується першочергово.
- Генератор або електромережа активуються тільки при нестачі сонячної енергії.

2) Гнучке керування енергією: Система може працювати відразу з кількома джерелами.

3) Збереження енергії: Акумулятори дозволяють використовувати електроенергію вночі або під час відключення електромережі.

4) Безперебійне живлення: Перемикання між режимами відбувається автоматично, забезпечуючи стабільність роботи побутових приладів.

На рисунку 2.4 показано 4 режими роботи сонячної гібридної електростанції на основі гібридного інвертора. Кожен режим демонструє пріоритетне джерело енергії та поведінку системи у різних умовах навантаження.

1) Верхній лівий режим

Сонячний пріоритет (основне живлення від сонячної енергії):

Сонячні панелі (вгорі зліва) генерують електроенергію від сонячного світла. Енергія від сонячних панелей надходить до гібридного інвертора та живить навантаження (побутові прилади) в реальному часі. Надлишок енергії заряджає акумуляторну батарею (позначено червоною стрілкою). Електромережа (або генератор) не використовується, бо енергії від сонця достатньо.

Висновок: У сонячний день система повністю автономна.

2) Верхній правий режим

Зарядка батарей пріоритетна (сонячна енергія + навантаження). Сонячні панелі забезпечують подвійне завдання. Живлять навантаження (побутові прилади). Заряджають акумуляторні батареї. Генератор або електромережа в цьому режимі не задіяні (неактивні).

Накопичення енергії в батареях триває до моменту їх повного заряду.

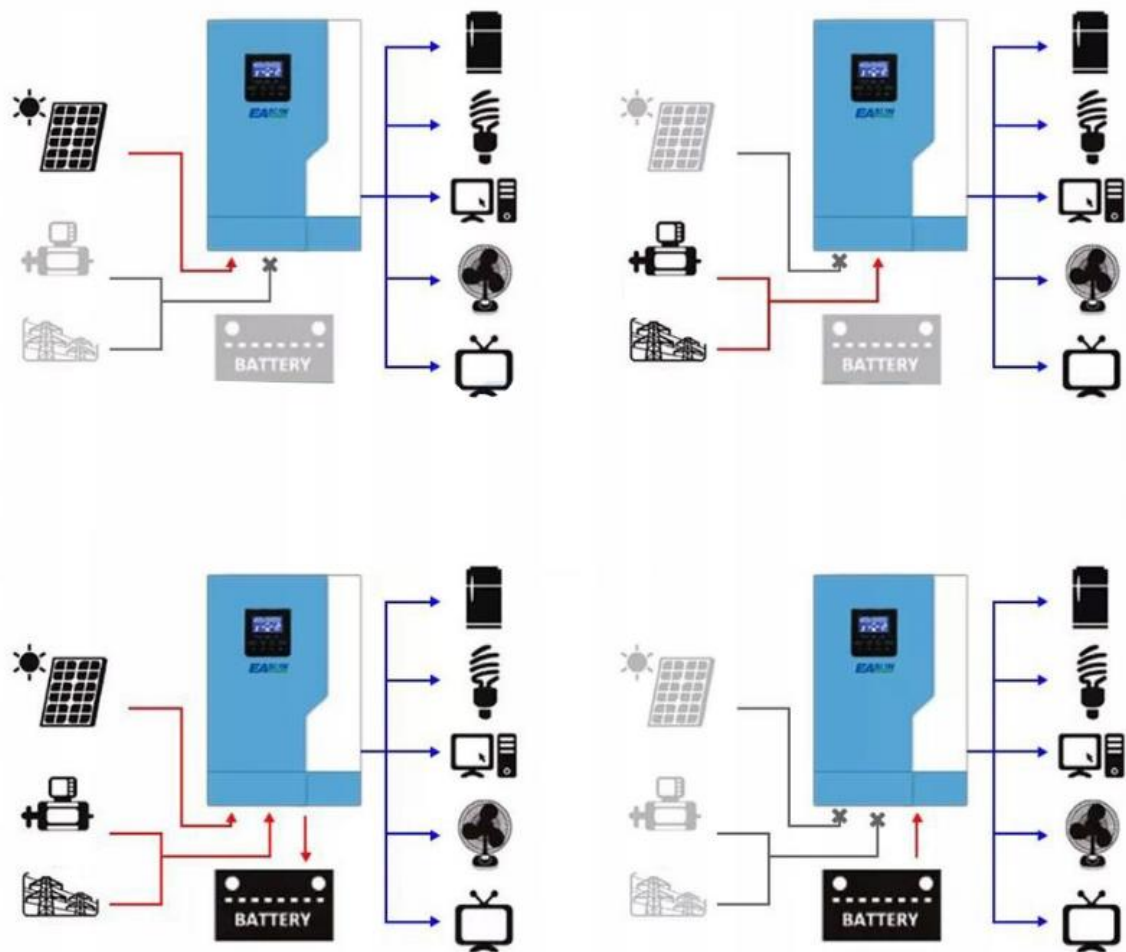


Рисунок 2.4 – Режими роботи гібридної сонячної електростанції

Розглянемо кожен режим по черзі:

Висновок: Сонячна енергія максимально використовується для навантаження та збереження у батареях [20].

3) Нижній лівий режим

Гібридний режим (сонце + електромережа/генератор). Сонячна енергія не є достатньою для забезпечення всіх навантажень. Гібридний інвертор автоматично підключає додаткове джерело енергії – електромережу або генератор. Енергія від обох джерел (сонце + мережа/генератор)

| | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |

використовується для живлення навантаження та зарядки акумуляторних батарей. Після зарядки батарей пріоритет віддається живленню від сонячних панелей.

Висновок: Система поєднує сонячну енергію та резервні джерела для забезпечення безперебійної роботи.

4) Нижній правий режим

Режим роботи від акумуляторів (відсутність сонця та електромережі). Сонячні панелі не генерують енергію (вночі або у хмарну погоду). Електромережа/генератор також неактивні. Акумуляторні батареї є єдиним джерелом живлення для навантаження. Після розрядження батарей система переходить у режим очікування або підключає резервне джерело (якщо доступне).

Висновок: У критичних умовах система працює від накопиченої енергії у батареях (аркуш [МРМА 24.00.00.000 РР]).

2.3 Встановлення та підключення гібридного інвертора живлення Easun 3,5 кВт-WIFI 100 А МРРТ 230 В

Перш ніж вибрати місце для встановлення, врахуйте наступні моменти:

- Не встановлюйте інвертор на легкозаймисті будівельні матеріали.
- Встановлюйте на тверду поверхню.
- Встановлюйте цей інвертор на рівні очей, щоб завжди мати змогу зчитувати інформацію з РК-дисплея.
 - Для належної циркуляції повітря та розсіювання тепла залиште простір приблизно 20 см збоку та приблизно 50 см зверху та знизу від приладу (рис.2.5).
 - Для забезпечення оптимальної роботи температура навколишнього середовища повинна бути в діапазоні від 0°C до 55°C.
 - Рекомендоване положення установки - вертикально до стіни.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | 40 |

- Потрібно переконатися, що інші предмети і поверхні розташовані так, як показано на схемі, щоб гарантувати достатнє відведення тепла і мати достатньо місця для від'єднання проводів [21].

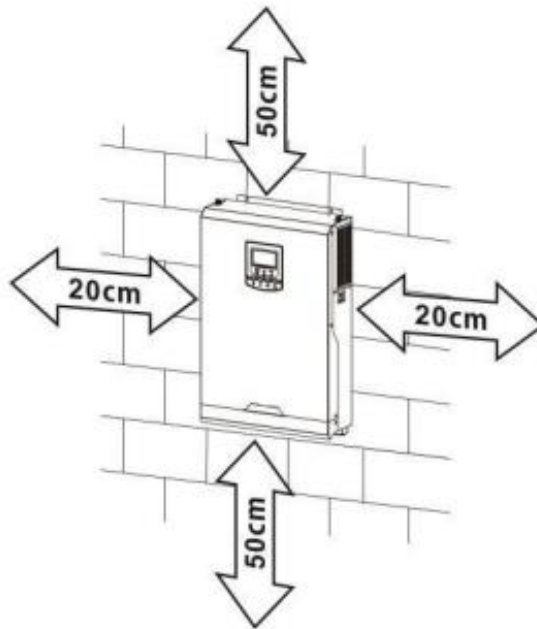


Рисунок 2.5 – Схема встановлення гібридного інвертора на стіну

Для того щоб підключити акумулятор потрібно виконати наступні кроки:

1. Зняти ізоляційну втулку 18 мм для позитивного та негативного проводів.
2. Надіти наконечники на кінці позитивного та негативного проводів за допомогою відповідного обтискного інструменту.
3. Закріпити кабельний організатор на інверторі комплектними гвинтами, як показано на малюнку нижче.
4. Підключити усі акумуляторні блоки, як показано на рисунку 2.5.
5. Вставити дроти акумулятора в роз'єми інвертора і переконайтеся, що болти затягнуті з крутним моментом затягування 2 Нм за годинниковою стрілкою (рис.2.6) [22].

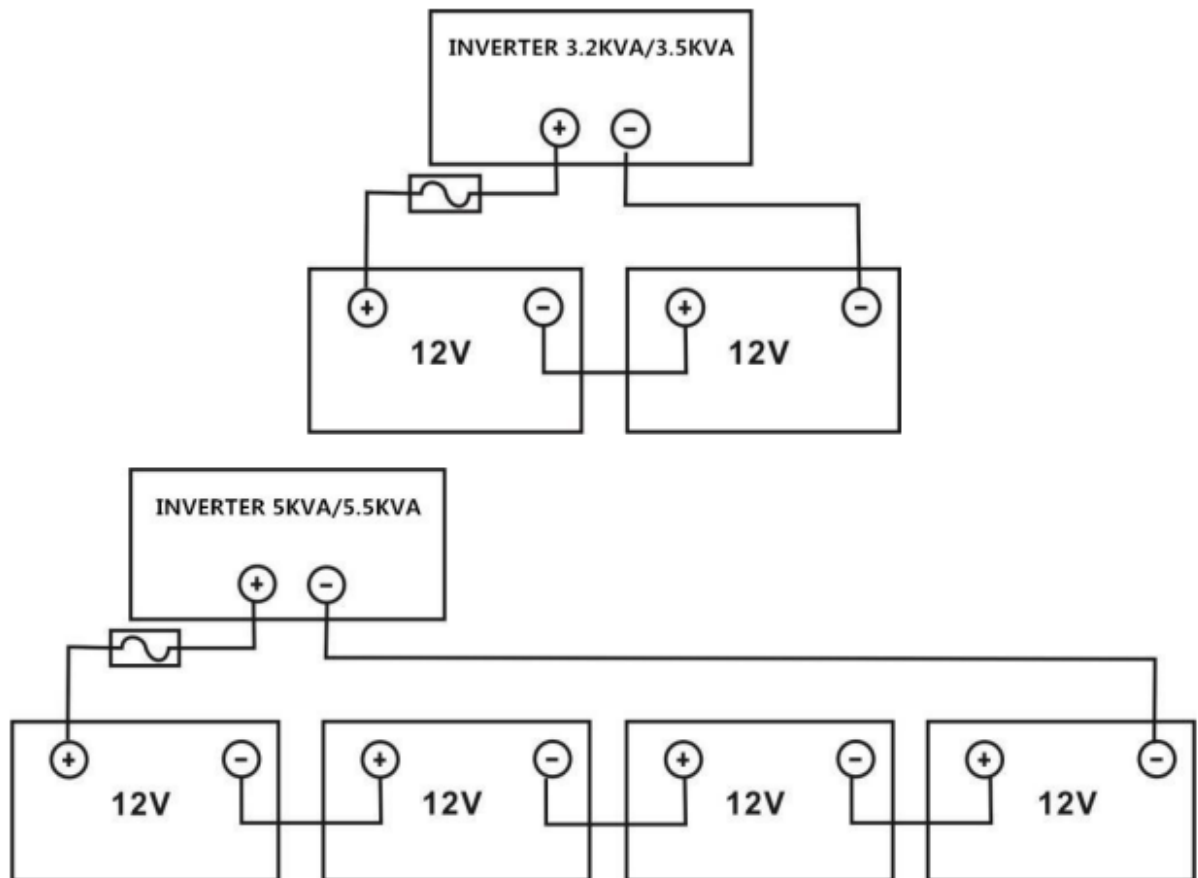


Рисунок 2.5 – Схема підключення акумуляторних блоків

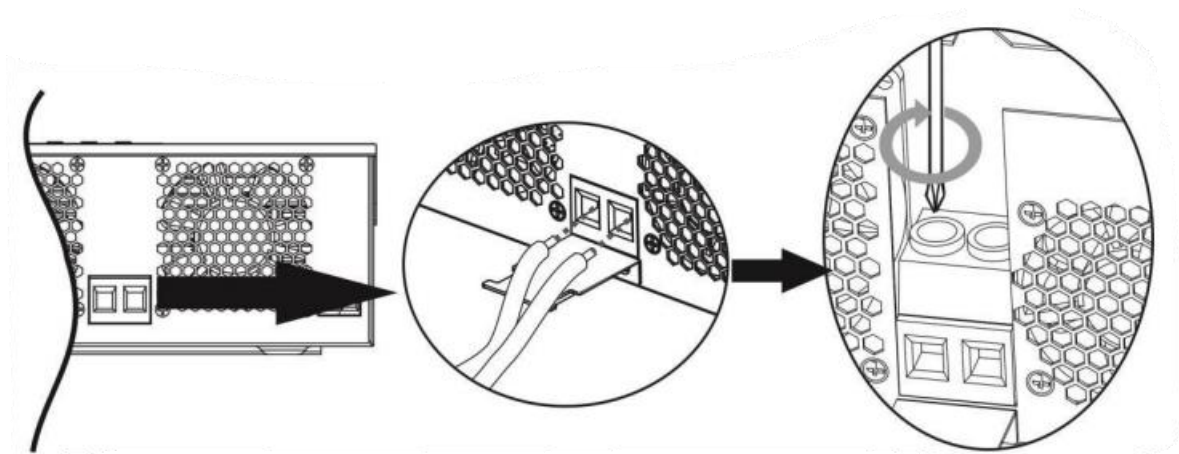


Рисунок 2.6 – Підключення акумулятора до інвертора

Для підключення входу/виходу змінного струму потрібно виконати наступні кроки:

1. Перед підключенням входу/виходу змінного струму відкрити захист або роз'єднувач постійного струму;

2. Зняти ізоляційну втулку 10 мм для шести провідників. І вкоротити фазу L і нульовий провідник N на 3 мм;

3. Вставити вхідні дроти змінного струму відповідно до полярності, зазначеної на клемній колодці, і затягніть гвинти клем. Обов'язково спочатку підключити захисний провід заземлення;

4. Потім вставте вихідні дроти змінного струму відповідно до полярності, зазначеної на клемній колодці, і затягніть гвинти клем. Обов'язково спочатку підключіть захисний провід заземлення [23].

Для електростанції було обрано полікристалічні сонячні панелі типу C&T Solar CT60285-P (табл.2.1).

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики сонячного модуля C&T Solar CT60285-P представлено нище.

| № з/п | Параметр | Величина |
|-------|--------------------------------|-----------------|
| 1 | Максимальна потужність | 285 Вт |
| 2 | Струм короткого замикання | 9.73 А |
| 3 | Напруга холостого ходу | 38.6 В |
| 4 | Максимальний робочий струм | 9.10 А |
| 5 | Максимальна робоча напруга | 31.4 В |
| 6 | Максимальна напруга системи | 1000 В |
| 7 | Кількість осередків | 120 шт. |
| 8 | Максимальний струм запобіжника | 15 А |
| 9 | Розмір модуля | 1665 *992*35 мм |
| 10 | Маса | 19 кг |

На даху кафедри було встановлено 8 сонячних панелей (рис.2.7).



Рисунок 2.7 – Сонячні панелі встановлені на даху кафедри

Для підключення інвертора до комп'ютера використовується комунікаційний кабель, що входить до комплекту постачання. Панель керування та індикації, показана на рисунку нижче, знаходиться на передній панелі інвертора. Вона містить три індикатори, чотири функціональні клавіші та РК-дисплей, що відображає робочий стан та інформацію про вхідну/вихідну потужність (див.рис.2.8).

| | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.
44



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд інформаційної панелі інвертора

Світлодіодні індикатори інвертора показують наступну інформацію (табл.2.2).

Таблиця 2.2 – Світлодіодні індикатори інверторна

| № з/п | Світлодіодний індикатор | Стан індикатора | Повідомлення |
|-------|-------------------------|---------------------|---|
| 1 | AC/INV | Зелений (увімкнено) | Вихід живиться від електромережі в лінійному режимі |
| 2 | AC/INV | Зелений (миготіння) | Вихід живиться від батареї або фотоелемента в акумуляторному режимі |
| 3 | CHG | Зелений (увімкнено) | Акумулятор повністю заряджений |
| 4 | CHG | Зелений (миготіння) | Акумулятор заряджається |

| | | | |
|---|-------|----------------------|--------------------------------------|
| 5 | FAULT | Червоний (увімкнено) | Несправність в інверторі |
| 6 | FAULT | Червоний (миготіння) | В інверторі попереджувальна ситуація |









Функціональні клавіші інвертора використовуються для наступних дій (табл.2.3).

Таблиця 2.3 – Функціональні клавіші інвертора

| № з/п | Клавіша | Опис |
|-------|---------|--|
| 1 | ESC | Щоб вийти з режиму налаштування |
| 2 | UP | Повернутися до попереднього вибору |
| 3 | DOWN | Щоб перейти до наступного вибору |
| 4 | ENTER | Щоб підтвердити вибір у режимі налаштування або увійти в цей режим |

2.4 Опис режиму роботи гібридного інвертора

Гібридний інвертор може працювати в кількох різних режимах, залежно від наявності сонячної енергії, стану батареї та підключення до мережі. Розглянемо основні режими роботи гібридного інвертора живлення Easun 3,5 кВт-WIFI 100 А MPPT 230 В. Даний гібридний інвертор живлення може працювати у наступних режимах: режим очікування/ режим енергозбереження, режим несправності, лінійний режим, режим роботи від акумулятора та режим роботи від фотоелектричної енергії.

| Режим роботи | Опис | ПК-дисплей |
|--|--|---|
| <p>Режим очікування / Режим енергозбереження</p> | <p>Пристрій не має виходу, але може заряджати батареї.</p> | <p>Зарядження від мережі та сонячної енергії.</p>  <hr/> <p>Зарядження від мережі.</p>  <hr/> <p>Зарядження від сонячної енергії.</p>  <hr/> <p>Не заряджається.</p>  |
| <p>Режим несправності</p> | <p>Сонячна енергія та мережа можуть заряджати батареї.</p> | <p>Зарядження від мережі та сонячної енергії.</p>  <hr/> <p>Зарядження від мережі</p>  <hr/> <p>Зарядження від сонячної енергії.</p>  <hr/> <p>Не заряджається.</p>  |

| | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |

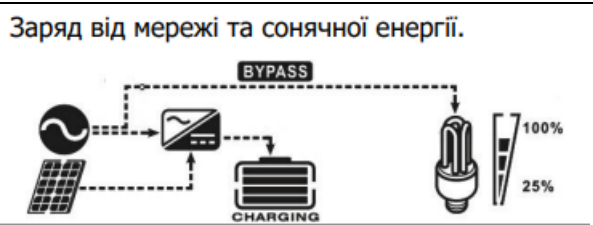
МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.
47

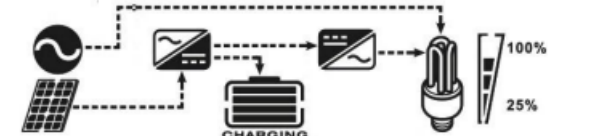
Пристрій забезпечить вихідну потужність від електромережі. Він також заряджатиме акумулятор у мережевому режимі.

Лінійний режим

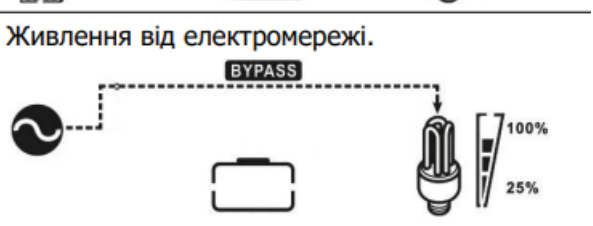
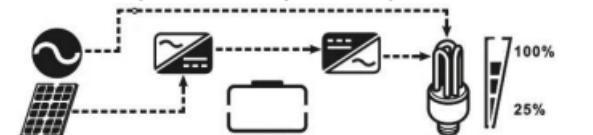
Пристрій забезпечить вихідну потужність від електромережі. Він також заряджатиме акумулятор у мережевому режимі.



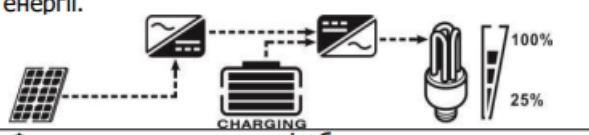
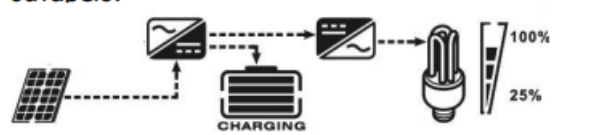
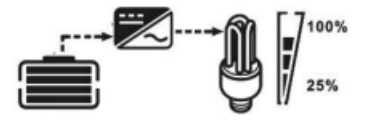
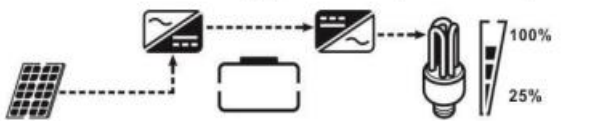
Якщо в якості пріоритету джерела живлення вибрано "Пріоритет сонячної енергії", а сонячної енергії недостатньо для забезпечення навантаження, сонячна енергія та електрична мережа забезпечуватимуть навантаження та заряджатимуть батарею одночасно.



Якщо в якості пріоритету джерела живлення вибрано "Пріоритет сонячної енергії", а акумулятор не підключено, навантаження забезпечуватимуть сонячна енергія та електрична мережа.



| | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |

| | | |
|---|---|---|
| <p>Режим роботи від акумулятора</p> | <p>Пристрій буде забезпечувати вихідну потужність від акумулятора та фотоелектричної енергії.</p> | <p>Живлення від акумулятора та фотоелектричної енергії.</p>  <p>Фотоелектрична енергія буде живити навантаження і одночасно заряджати батарею.</p>  <p>Живлення тільки від акумулятора.</p>  |
| <p>Режим роботи від фотоелектричної енергії</p> | <p>Пристрій буде забезпечувати вихідну потужність від фотоелектричної енергії.</p> | <p>Живлення тільки від фотоелектричної енергії.</p>  |

2.5 Монтаж побутової гібридної сонячної електростанції

Для зібрання побутової гібридної сонячної електростанції розроблено структурну схему стану (рис.2.9) (аркуш [МРМА 24.00.00.000 СС]).

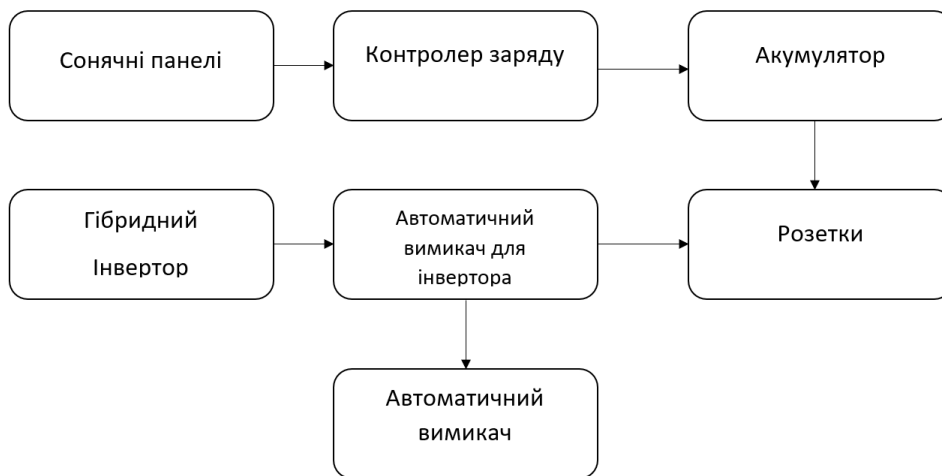


Рисунок 2.9 - Структурна схема побутової гібридної сонячної електростанції

| | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |
|-----|------|---------|--------|------|

Загальний вигляд побутової гібридної сонячної електростанції представлено на рисунку 2.10 (аркуш [МРМА 24.00.00.000 В3]).



Рисунок 2.10 – Загальний вигляд побутової гібридної сонячної електростанції

2.6 Висновки до другого розділу

В даному розділі представлено розробку побутової гібридної сонячної електростанції. Обґрунтовано використання гібридного інвертора Easun 3,5 кВт-WIFI 100 А МРРТ 230 В. . Надано чіткий порядок дій для встановлення інвертора, підключення сонячних панелей, акумуляторів та інших компонентів системи. Розглянуто особливості монтажу обладнання на реальному об'єкті. Представлено різні режими роботи електростанції а також описано механізми автоматичного перемикавання між джерелами енергії залежно від навантаження та погодних умов.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 50 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

3 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛІЗУ ЗА РОБОТОЮ ГІБРИДНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

3.1 Огляд та аналіз роботи гібридної сонячної електростанції

Для слідкування за роботою побутової гібридної сонячної електростанції було розроблено систему за допомогою якої дуже зручно аналізувати як саме працює станція в режимі реального часу.

На рисунку 3.1 представлена схема роботи гібридної сонячної електростанції в реальному часі, яка показує потоки енергії між різними компонентами системи, а також виводить поточні параметри роботи в панелі праворуч (аркуш [МРМА 24.00.00.000 СК]).

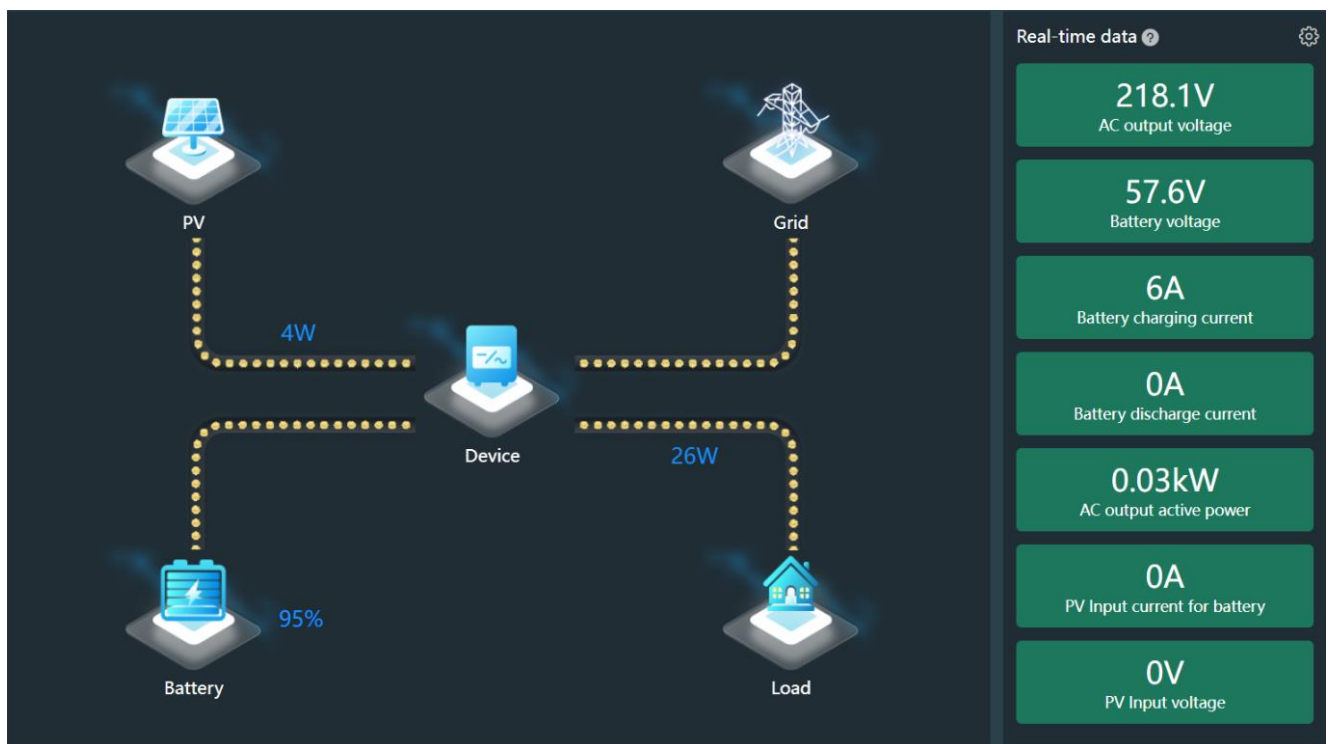


Рисунок 3.1 – Схема роботи гібридної сонячної електростанції в реальному часі

Розглянемо компоненти системи та їх функціонування:

1. PV (сонячні панелі). Сонячна енергія генерується панелями. Поточна потужність, яку генерують панелі, становить 4 Вт. Ця енергія передається на пристрій (Device) для подальшого розподілу.

2. Battery (акумулятор). Поточний рівень заряду батареї становить 95%. Відображається заряджання батареї струмом у 6 А, що означає, що система поповнює заряд акумулятора. Водночас, розрядка акумулятора (Battery discharge current) відсутня (0 А), тобто батарея не використовується для живлення навантаження.

3. Grid (електромережа). Відбувається активна подача енергії з мережі на пристрій (Device). Потужність від мережі не вказана, але вона може використовуватись як резервне джерело енергії.

4. Device (інвертор). Інвертор є основним керуючим пристроєм, який здійснює перетворення та розподіл енергії. Потужність на виході інвертора становить 26 Вт, і вона направляється на навантаження (Load). Інвертор також працює для синхронізації джерел енергії (сонячні панелі, батарея та мережа).

5. Load (навантаження). Поточне споживання навантаження становить 26 Вт. Це можуть бути пристрої, підключені до системи, наприклад освітлення, побутова техніка чи інші споживачі.

Панель праворуч з реальними даними роботи системи відображає наступні параметри:

- AC output voltage: Напруга змінного струму на виході системи – 218,1 В.
- Battery voltage: Поточна напруга батареї – 57,6 В.
- Battery charging current: Зарядний струм батареї – 6 А.
- Battery discharge current: Розрядний струм батареї – 0 А.
- AC output active power: Активна потужність вихідного змінного струму – 0,03 кВт.
- PV input current for battery: Струм від сонячних панелей для зарядки батареї – 0 А (сонячна енергія йде безпосередньо в систему, а не на батарею).

- PV input voltage: Вхідна напруга від сонячних панелей – 0 В (генерація дуже низька, лише 4 Вт, що може свідчити про низький рівень сонячного освітлення).

По рисунку 3.1 можна зробити наступний аналіз роботи системи:

Пріоритетна зарядка акумулятора: Система активно заряджає батарею, використовуючи енергію з мережі та частково від сонячних панелей.

Навантаження живиться від інвертора: Інвертор перетворює та подає енергію на навантаження, яке споживає 26 Вт.

Мінімальна генерація сонячних панелей: Низький показник потужності від сонячних панелей свідчить про недостатню інсоляцію (в даному випадку це був вечір).

Енергія з мережі: Основне джерело енергії зараз – це електромережа, яка компенсує низьку генерацію сонячних панелей [24].

На рисунку 3.2 представлений графік вироблення енергії гібридною сонячною електростанцією за поточний місяць (грудень 2024 року). Графік відображає динаміку генерації енергії (в кВт·год) протягом кожного дня місяця.

Структура та дані графіка:

1. Ось X (дні місяця): Відображає номер дня місяця від 1 до 31. Кожна колонка відповідає окремому дню місяця.

2. Ось Y (генерація енергії в кВт·год): Відображає кількість енергії, виробленої сонячною електростанцією за день. Масштаб осі змінюється від 0 до 2,1 кВт·год, що показує максимальний обсяг енергії, яку станція генерувала протягом окремого дня.

3. Стовпці (генерація енергії): Помаранчеві стовпці відображають вироблену енергію за кожен день. Внизу стовпців підписані відповідні дні місяця.

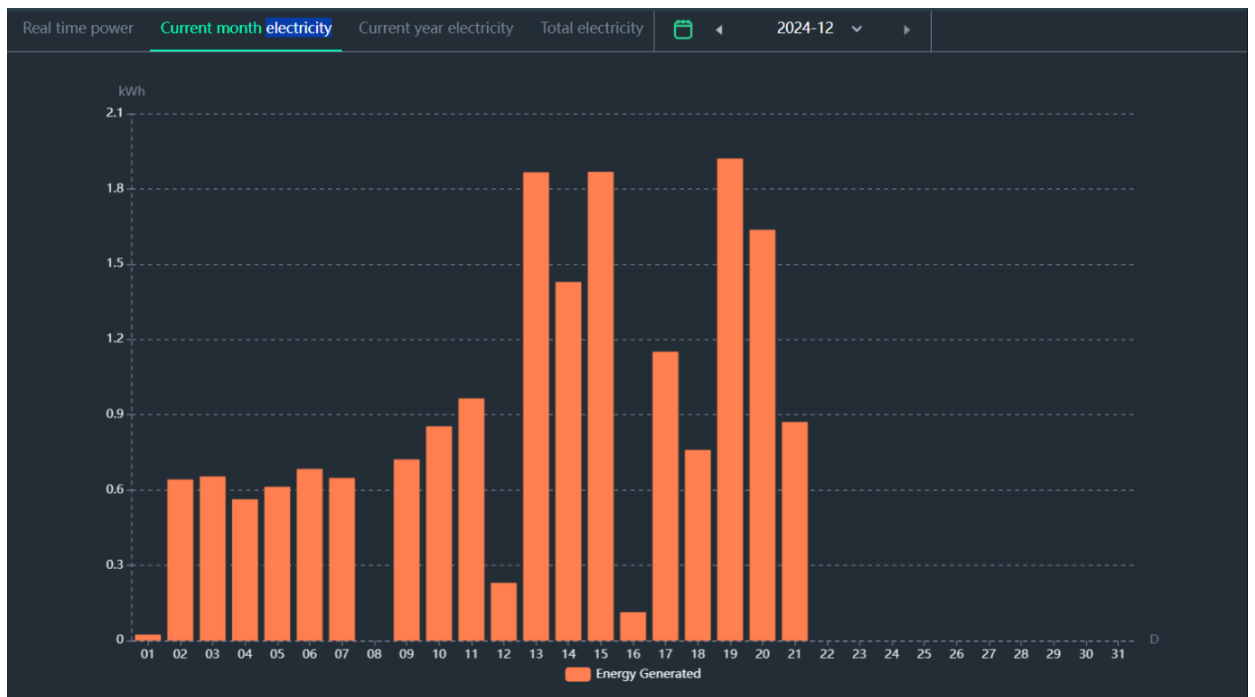


Рисунок 3.2 - Графік вироблення енергії гібридною сонячною електростанцією за поточний місяць

З рисунку 3.2 можна провести наступний аналіз даних:

1. Загальні показники генерації:

- Енергія генерується нерівномірно протягом місяця.
- Максимальна генерація сягає приблизно 2,0 кВт·год (наприклад, 15-го та 19-го числа).
- Є дні з дуже низькою генерацією, майже нульовою (наприклад, 1-го числа).

2. Періоди активної генерації:

- З 5 по 8 грудня спостерігається стабільна генерація в діапазоні 0,6–0,9 кВт·год.
- З 13 по 19 грудня — період із найвищою генерацією. Деякі дні в цьому періоді (15-го та 19-го числа) показують максимальні значення — близько 2,0 кВт·год.

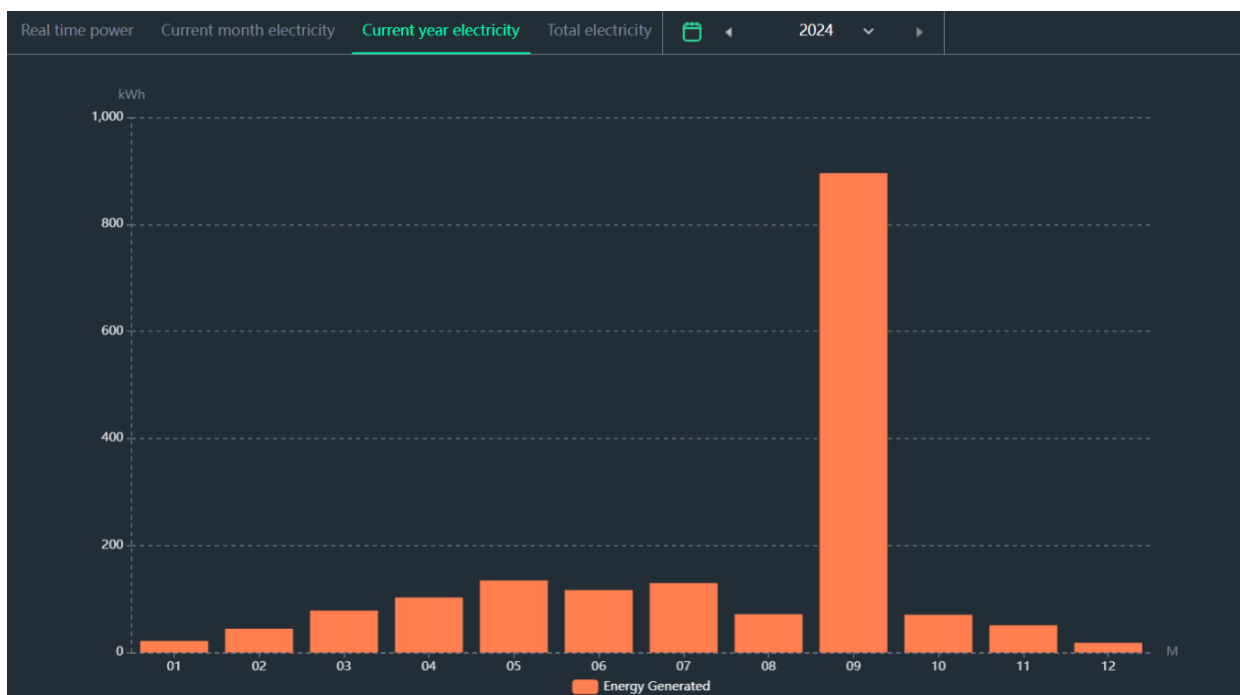


Рисунок 3.3 - Графік річної динаміки виробництва електроенергії гібридною сонячною електростанцією за 2024 рік

3.2 Аналіз основних показників побутової гібридної сонячної електростанції

З рисунку 3.3 можна провести наступний аналіз даних:

1. **Періоди високої генерації:** Вересень (09 місяць). Цей місяць виділяється як абсолютний лідер із піковою генерацією, що перевищує 1 000 кВт·год. Така висока продуктивність може бути обумовлена сприятливими кліматичними умовами: довгими сонячними днями та відсутністю значної хмарності.

2. **Середня генерація:** Квітень (04), травень (05), червень (06), липень (07) і серпень (08): У цей період генерація енергії стабільно перебуває в діапазоні 500–800 кВт·год, що свідчить про високу інсоляцію та ефективну роботу станції. Літні місяці характеризуються максимальним рівнем сонячного випромінювання, що сприяє високій продуктивності.

3. Періоди низької генерації: Січень (01), лютий (02), листопад (11) і грудень (12): Генерація за ці місяці становить менше 200 кВт·год, а для грудня вона є найнижчою. Це обумовлено коротким світловим днем, зменшенням рівня сонячного випромінювання та можливою хмарністю.

4. Різке збільшення в серпні-вересні: Вересень демонструє аномально високу продуктивність порівняно з попередніми місяцями, що свідчить про покращення ефективності обладнання або період із виключно сприятливими погодними умовами.

Графік демонструє характерну сезонну динаміку роботи гібридної сонячної електростанції, де пік виробництва припадає на весняно-літній період, а мінімальна генерація — на зимові місяці. Унікально високий показник вересня виділяється серед інших місяців і потребує додаткового аналізу причин. Загалом станція функціонує ефективно, адаптуючись до кліматичних умов року.

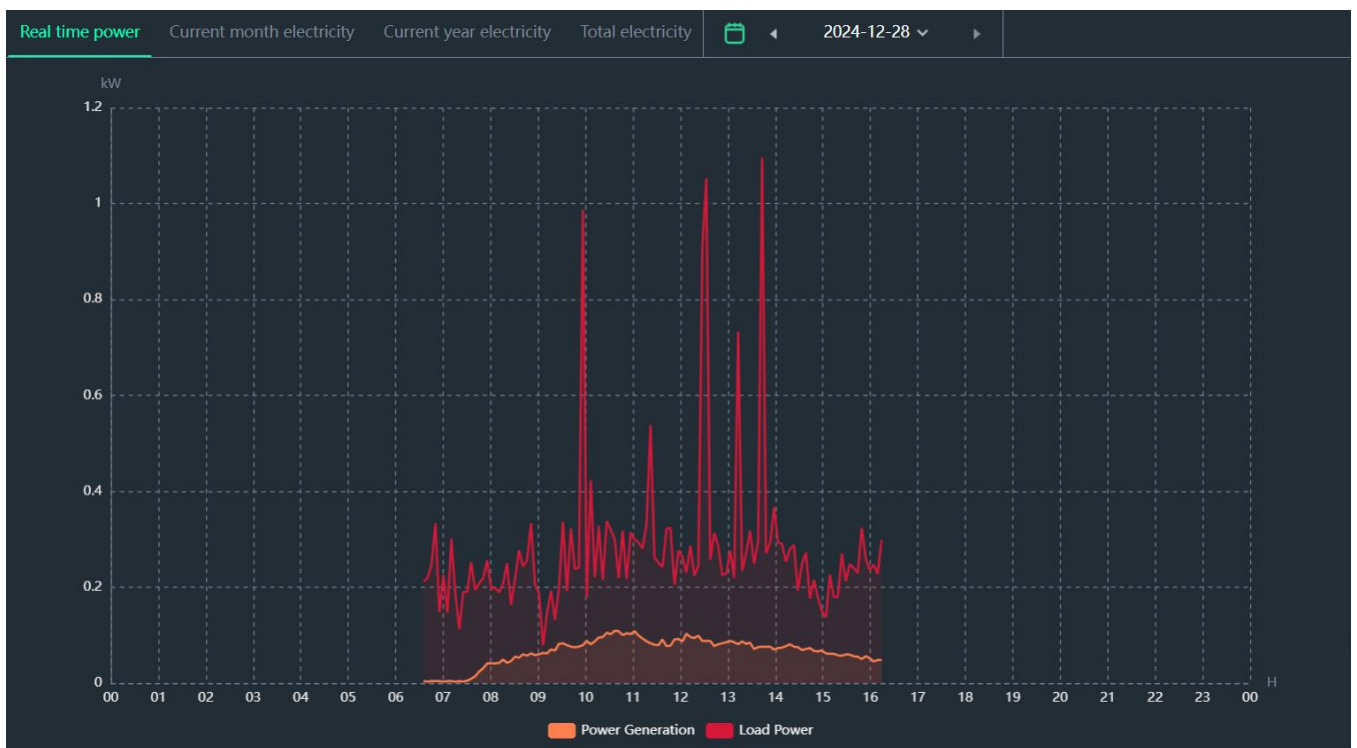


Рисунок 3.4 - Графік споживання та генерацію енергії гібридною сонячною електростанцією протягом дня 21 грудня 2024 року

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. 57 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Загальна структура графіка:

- Ось X: Представляє часову шкалу від 00:00 до 24:00, яка охоплює повний добовий цикл.

- Ось Y: Вимірює потужність у кіловатах (кВт) з розділенням до 1.8 кВт.

Криві:

- Помаранчева лінія (Power Generation): Показує генерацію енергії сонячними панелями.

- Червона лінія (Load Power): Відображає споживання електроенергії системою чи об'єктом, до якого підключена електростанція.

Детальний аналіз кривих. Генерація енергії (помаранчева лінія). Нічний період (00:00–06:00):

- Генерація відсутня через відсутність сонячного світла.

- Помаранчева лінія лежить на нульовій позначці.

Ранковий період (06:00–08:00):

- Починається поступове підвищення генерації з моменту появи сонячного світла.

- Потужність зростає дуже повільно.

Період піку (08:00–13:00):

- Генерація досягає свого максимального рівня близько 12:00–13:00, коли сонячне світло найбільш інтенсивне.

- Максимальне значення генерації перевищує 0.3 кВт, але не наближається до рівня споживання.

Денний спад (13:00–17:00): Після піку генерація поступово знижується через зменшення інтенсивності сонячного світла.

Вечір і ніч (після 17:00):

- Генерація повністю припиняється після заходу сонця.

- Споживання енергії (червона лінія):

Нічний період (00:00–06:00):

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 58 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

- Споживання енергії знаходиться на низькому рівні, але не зводиться до нуля.

- Лінія стабільна, показуючи базове споживання, можливо, через роботу постійних електричних приладів.

Ранковий період (06:00–09:00):

- Починається підвищення споживання, можливо, через активізацію побутової техніки або іншого обладнання.

- Близько 09:00 спостерігається перший значний пік, який перевищує 1.2 кВт.

Денний період (09:00–15:00):

- Споживання залишається стабільно високим з кількома піками.

- Найвищий пік споживання спостерігається близько 13:00, досягаючи майже 1.8 кВт.

Вечірній період (15:00–19:00). Споживання залишається на відносно високому рівні, проте після 18:00 починається поступове зниження.

Нічний період (після 19:00). Після 19:00 споживання значно знижується, що свідчить про меншу активність споживачів.

На рисунку 3.5 представлено графік, що ілюструє динаміку змін змінного вихідного напруги (AC output voltage) гібридної сонячної електростанції протягом доби 21 грудня 2024 року

На графіку зображено напругу у вольтах (V) на виході інвертора, який конвертує постійну напругу, що генерується сонячними панелями, у змінну напругу для живлення електроприладів [25].



Рисунок 3.5 - Графік змін змінної вихідної напруги (AC output voltage) гібридної сонячної електростанції протягом доби 21 грудня 2024 року

Загальна структура графіка:

- Ось X: Представляє часову шкалу, яка охоплює весь добовий період від 00:00 до 24:00.

- Ось Y: Відображає значення змінної напруги в діапазоні від 0 до 250 В. Крива: Червона лінія демонструє рівень змінної напруги протягом дня.

Аналіз графіка:

Стабільна робота (00:00–22:00):

- Протягом більшої частини доби, з 00:00 до приблизно 22:00, напруга стабільно утримується в діапазоні 210–230 В, що відповідає стандартним параметрам для живлення електроприладів.

- Незначні коливання (менше 5–10 В) спостерігаються протягом дня, але вони є нормальними для роботи гібридної сонячної системи. Причини таких

коливань можуть включати зміну навантаження або корекцію напруги інвертором.

- Графік демонструє високу надійність інвертора, який підтримує стабільну напругу навіть при змінних умовах генерації та споживання енергії.

Раптове падіння (після 22:00):

- Близько 22:00 відбувається різке падіння вихідної напруги до 0 В.
- Таке різке зниження свідчить про припинення роботи інвертора.

Причини цього можуть включати:

- Автоматичне вимкнення системи (наприклад, через відсутність генерації чи перевантаження).

- Відключення живлення від системи для технічного обслуговування.

- Падіння напруги акумулятора нижче критичного рівня.

- Важливо зазначити, що після 22:00 система більше не генерує вихідної напруги.

Технічні аспекти роботи:

- Стабільна напруга в межах 210–230 В відповідає нормам для побутових та промислових споживачів.

- Високий рівень стабільності вказує на якісну роботу інвертора та систему регуляції напруги.

Побутова гібридна сонячна електростанція забезпечує ефективне використання енергії завдяки поєднанню роботи сонячних панелей, акумуляторних батарей та зовнішньої електромережі. Нижче наведено аналіз графіка, що відображає динаміку роботи електростанції протягом доби 21 грудня 2024 року. Графік демонструє зміни напруги мережі та акумуляторних батарей, що є ключовими показниками стабільності та ефективності системи.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 61 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

- Не відбувається значного розряду або перезарядки.

Висновок: Акумулятор функціонує в оптимальному режимі для підтримки резерву енергії.

2. Напруга мережі (Grid voltage):

Стабільність напруги (00:00–22:00):

- Протягом більшої частини дня, з 00:00 до 22:00, напруга мережі утримується в межах 210–230 В.

- Незначні коливання напруги в кілька вольт є нормальними для електромережі і можуть бути спричинені зміною навантаження або регулюванням системи.

- Ця стабільність свідчить про надійність підключення до мережі та ефективність інвертора в підтримці потрібного рівня напруги.

- Раптове падіння напруги після 22:00:

- Близько 22:00 напруга мережі різко падає до 0 В, що вказує на повне припинення роботи системи, відключення від мережі або вимкнення системи живлення.

Технічні аспекти та можливі причини:

- Стабільна напруга акумулятора (50 В) протягом дня є ознакою того, що система зберігання енергії працює в режимі підтримки заряду, не використовуючи значних обсягів енергії для живлення навантаження.

- Це також може вказувати на те, що основне джерело живлення (сонячні панелі або мережа) забезпечує потреби системи без необхідності використання енергії з акумулятора.

- Напруга мережі і акумулятора протягом дня підтримується на стабільному рівні, що свідчить про нормальну роботу системи.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 63 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 3.7 - Графік зміни вхідної напруги фотоелектричних (PV) панелей протягом доби 21 грудня 2024 року.

Опис графіка:

- Ось Y (вертикальна вісь): Відображає значення вхідної напруги (PV Input Voltage) у вольтах (V). Діапазон значень від 0 до 300 вольт.
- Ось X (горизонтальна вісь): Відображає час протягом доби у годинах (від 00:00 до 24:00).

Крива: Червона крива представляє значення вхідної напруги від PV панелей протягом дня.

Вночі (з 00:00 до приблизно 07:00 та з 17:00 до 24:00) напруга дорівнює 0 В, що вказує на відсутність вироблення енергії через відсутність сонячного світла.

Початок вироблення енергії відбувається приблизно о 07:00, коли напруга швидко піднімається до рівня близько 250 В.

З 08:00 до 16:00 напруга коливається в межах від 250 В до 270 В, що вказує на період активного вироблення електроенергії.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. 64 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Після 16:00 спостерігається зниження напруги, яке досягає 0 В приблизно о 17:00.

Загальна характеристика:

- Графік має форму "плато" з двома стрімкими підйомами і спусками на початку та в кінці світлового дня.
- Основна частина графіка є стабільною, з невеликими коливаннями, що свідчить про стабільне вироблення електроенергії протягом більшої частини світлового дня.
- Часові інтервали з нульовою напругою вказують на нічний час, коли панелі не виробляють енергію.

Висновки:

- Гібридна сонячна електростанція працює ефективно протягом дня, забезпечуючи стабільну напругу.
- Максимальне вироблення електроенергії відбувається між 08:00 і 16:00.
- Вночі станція не виробляє електроенергію, оскільки відсутнє сонячне освітлення.

Графік, представлений на рисунку 3.8, показує зміну активної вихідної потужності змінного струму (АС) гібридної сонячної електростанції протягом доби 21 грудня 2024 року.

Опис графіка:

- Ось Y (вертикальна вісь). Відображає значення активної вихідної потужності (AC output active power) в кіловатах (kW). Діапазон значень від 0 до 1,8 кіловат.
- Ось X (горизонтальна вісь). Відображає час протягом доби у годинах (від 00:00 до 24:00).

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | 65 |

Після 15:00 спостерігається поступове зниження потужності до 0 кВт о 20:00.

3.3. Висновки до третього розділу

В даному розділі представлено створену інформаційну систему, яка забезпечує контроль та аналіз роботи побутової гібридної сонячної електростанції. Розроблено інтерактивний інтерфейс для візуалізації основних параметрів роботи електростанції, таких як вироблення та споживання енергії, рівень заряду акумуляторів, ефективність генерації. Наведено графіки, що демонструють динаміку генерації електроенергії за різні періоди (місяць, рік), а також аналіз основних показників ефективності системи.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | 67 |

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі розроблено побутову сонячну гібридну електростанцію.

В першому розділі проведено всебічний аналіз сучасного стану сонячної енергетики. Описано основні тенденції розвитку галузі, включаючи темпи зростання, інновації та ключові регіони, що демонструють найвищі результати у використанні сонячної енергії. Розглянуто унікальні особливості сонячної енергетики в Україні, зокрема потенціал південних регіонів країни, нормативно-правову базу та «зелений тариф», який стимулює розвиток галузі. Наведено порівняльний аналіз динаміки зростання світового ринку сонячної енергетики та описано ключові фактори, які впливають на його розвиток. Типи та компоненти електростанцій: Дано детальний опис основних типів сонячних електростанцій (автономні, мережеві, гібридні) та компонентів, таких як сонячні панелі, інвертори, акумулятори й контролери заряду. Зокрема, розкрито принцип роботи системи за умовами «зеленого тарифу».

В другому розділі представлено розробку побутової гібридної сонячної електростанції. Обґрунтовано використання гібридного інвертора Easun 3,5 кВт-WIFI 100 A MPPT 230 V, який поєднує функції інвертора, зарядного пристрою MPPT та акумуляторного контролера, забезпечуючи високу ефективність і стабільність роботи. Надано чіткий порядок дій для встановлення інвертора, підключення сонячних панелей, акумуляторів та інших компонентів системи. Розглянуто особливості монтажу обладнання на реальному об'єкті. Представлено різні режими роботи електростанції (сонячний пріоритет, гібридний режим, резервний режим від акумуляторів), а також описано механізми автоматичного перемикання між джерелами енергії залежно від навантаження та погодних умов.

Третій розділ присвячений створенню інформаційної системи, яка забезпечує контроль та аналіз роботи побутової гібридної сонячної

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | 68 |

електростанції. Розроблено інтерактивний інтерфейс для візуалізації основних параметрів роботи електростанції, таких як вироблення та споживання енергії, рівень заряду акумуляторів, ефективність генерації. Наведено графіки, що демонструють динаміку генерації електроенергії за різні періоди (місяць, рік), а також аналіз основних показників ефективності системи.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | 69 |

23. Romstal. Світ інсталяцій. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://romstal.ua/uk/info/179-что-такое-инвертор-для-солнечной-панели-и-как-его-правильно-выбрать>

24. Standlab. Навчальне і наукове обладнання. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://standlab.com.ua/product/foss-10-sonyachni-batareyi-z-uhylom-dahu>.

25. СонцеДім. Центр відновлювальної енергетики. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://soncedim.com.ua/blog/dlia-chogo-potriben-kontroler-zariadu>

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 72 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

ДОДАТОК А

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 73 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |