

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інформаційних технологій
Інформаційно- вимірювальних технологій

Чуліпа Богдан Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.325

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Розроблення та метрологічний аналіз фотовольтних системи контролю
(назва роботи)

Метрологія і вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

175- інформаційно-вимірювальні технології

(шифр і назва спеціальності)

Чуліпа Б.В.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Піндус Н.М., к.т.н., доцент

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

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ
2024

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Освітній рівень магістр

Спеціальність інформаційно-вимірювальні технології
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІВТ

Середюк О.Є.

« » 20 року

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Чуліпа Богдан Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи Розроблення та метрологічний аналіз фотовольтних системи контролю

1. Керівник роботи Піндус Н.М., к.т.н. доцент каф. ІВТ,

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

затвержені наказом закладу вищої освіти від “ ” 20 року №

2. Строк подання студентом роботи 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Технічний опис роботи фотовольтної системи контролю

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

1 Аналіз технологій відновлюваної енергетики

2 Проектування генератора на основі сонячних панелей

3 Метрологічний аналіз контролерів заряду і автономних рv-систем

Висновок Перелік посилань та джерел

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

МР. МТТм – 10.00.00.001 – Конструкція сонячних батарей, що використовують пластини з кристалічного кремнію;

МР.МТТм – 10.00.00.002 – Структура автономної Рv системи

МР.МТТм – 10.00.003 – Змішана Рv системи

МР. МТТм – 10.00.00.004 – Технологія літій-іонних полімерних батарей;

МР. МТТм – 10.00.00.005 – Технологія окислювально-відновлювального потоку

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормо-контроль	Біліщук В.Б., доцент		
Консультант			

7. Дата видачі завдання _____ .2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вступ	10.11.- 13.11.2024	
2.	Аналіз технологій відновлюваної енергетики	14.11.- 23.11.2024	
3.	Проектування генератора на основі сонячних панелей	30.11.- 09.12.2024	
4.	Метрологічний аналіз контролерів заряду і автономних рv-систем	10.12.- 17.12.2024	
5.	Редагування пояснювальної записки	18.12.- 21.12.2024	

Студент

_____ Чуліпа Б.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Піндус Н.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

1.1 Дослідження сучасних методів перетворення енергії

1.2 Перспективи розвитку сонячної енергетики

1.3 Типологія технологій сонячних батарей

1.4 Тенденції зростання потужностей сонячної енергетики у світі

1.5 Формулювання задачі дипломного проекту

2. ПРОЕКТУВАННЯ ГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

2.1 Структурне розроблення проекту генератора на сонячних панелях

2.2 Аналіз типів і конструкцій пристроїв для перетворення енергії в PV-системах

2.3 Розрахунок характеристик батарей для автономних та гібридних PV-систем

3. МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ КОНТРОЛЕРІВ ЗАРЯДУ І АВТОНОМНИХ PV-СИСТЕМ

3.1 Дослідження функціональності контролерів заряду батарей у PV-системах

3.2 Вибір і розрахунок компонентів автономної PV-системи

Висновки

Список використаних джерел

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: «Розроблення та метрологічний аналіз фотовольтних системи контролю» Чуліпа Б.В., ІФНТУНГ, 2024, 67 с., 46 рис., 2 табл., 11 джерел.

Об'єкт дослідження — генератор на базі сонячних панелей (PV-система).

Мета роботи — створення проекту генератора на основі сонячних панелей із системою моніторингу ключових параметрів його функціонування.

У магістерській роботі проведено аналіз вимірювання температури, а також розглянуто основні методи та засоби. Виконано порівняльний аналіз технологій відновлюваних джерел енергії, розроблено проект PV-системи, проаналізовано роботу контролерів заряду батарей, а також виконано розрахунки для автономної PV-системи.

PV-СИСТЕМА, СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ, РОЗРАХУНОК, КОНТРОЛЕР ЗАРЯДУ, ІНВЕРТОР.

ABSTRACT

Master's Thesis: "Development and Metrological Analysis of a PV System Control (Photovoltaic Systems)" Chulipa, IFNTUNG, 2024, 62 pages, 14 figures, 6 tables, 8 references.

The object of research is a generator based on solar panels (PV system). The purpose of the work is to develop a project for a solar panel-based generator with a system for monitoring its key performance indicators.

The master's thesis includes an analysis of temperature measurement methods and tools. A comparative analysis of renewable energy technologies was conducted, a PV system project was developed, the operation of battery charge controllers was studied, and calculations for an autonomous PV system were performed.

PV SYSTEM, SOLAR PANEL, CALCULATION, CHARGE CONTROLLER, INVERTER.

ВСТУП

Тема магістерської роботи: «Розроблення та метрологічний аналіз фотовольтних системи контролю»

Об'єкт дослідження — генератор на базі сонячних панелей (PV-система).

Мета роботи — створення проекту генератора на основі сонячних панелей із системою моніторингу основних показників його роботи.

Актуальність теми — розроблена структура проекту генератора на сонячних панелях.

Практична значимість — виконано розробку та розрахунок компонентів автономної PV-системи.

Методи та інструменти досліджень — теорія невизначеності та методи математичної статистики.

Новизна роботи — спроектована автономна PV-система.

Сьогодні розвиток джерел зеленої енергії є пріоритетним напрямком для багатьох країн ЄС, Азії та США. Це пов'язано зі збільшенням попиту на енергоресурси через зростання чисельності населення Землі та активне впровадження енергоємних технологій.

Використання невідновлюваних джерел енергії, таких як газ та нафта, вже призвело до значних кліматичних змін і екологічних катастроф на планеті.

Використання енергії, отриманої з природних джерел, таких як сонячна, вітрова, гідро- і геотермальна енергія, дає змогу забезпечити як сучасні, так і майбутні потреби людства, мінімізуючи негативний вплив на довкілля. Сонячна енергія виділяється своєю доступністю в більшості регіонів світу, невичерпністю, екологічною безпекою, а також відносно низькою вартістю виробництва і встановлення сонячних електростанцій.

Проте для забезпечення максимальної ефективності сонячних

електростанції необхідно враховувати численні зовнішні (умови довкілля) та внутрішні фактори, а також проводити метрологічну оцінку впливу кожного параметра. Тільки за таких умов сонячні генератори зможуть функціонувати ефективно та забезпечувати економічну доцільність протягом усього терміну експлуатації.

Неоптимальне використання навіть якісних і дорогих компонентів сонячних електростанцій може спричинити втрату частини згенерованої енергії та скорочення терміну їх служби, що особливо важливо враховувати через значну вартість таких систем[1].

Ця робота спрямована на аналіз причин і перспектив розвитку сонячної енергетики у світі, а також на вивчення ключових аспектів проектування сонячних електростанцій для локального використання.

1 ПОРІВНЯЛЬНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

1.1 Дослідження сучасних методів трансформації енергії

Енергія — це властивість системи, що дозволяє їй виконувати роботу. У повсякденному житті енергія проявляється у різних формах, таких як механічна, хімічна, ядерна, теплова, гравітаційна тощо. Відповідно до закону збереження енергії, вона не зникає, а лише змінює свою форму. Класичним прикладом є електричний двигун, де електрична енергія перетворюється на механічну, або електричний генератор, в якому, навпаки, механічна енергія трансформується в електричну. Механічну енергію можна отримувати, наприклад, із вітру за допомогою вітроелектростанцій чи з руху води у гідроелектростанціях[2].

Кількість енергії вимірюється в джоулях (Дж), тоді як потужність системи (наприклад, двигуна) визначається у ватах (Вт) і розраховується як відношення кількості енергії до часу, за котрий енергія споживається або ж генерується, тому одиниці вимірювання - Дж/1с.

Часто енергію вимірюють у кіловат-годинах, що означає споживання, тобто при потужності 1000 Вт протягом однієї години буде витрачено 3,6 МДж.

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 1000 \text{ Вт} \times 1 \text{ год} = 1000 \text{ Вт} \times 3600 \text{ с} = 1000 \times 3600 \text{ Дж} = 3,6 \times 10^6 \text{ Дж} = 3,6.$$

На сьогоднішній день найбільшими споживачами енергії на душу населення є високорозвинені країни. Проте це не стосується країн з розвиваючою економікою, таких як Україна, де високий рівень

споживання енергії зумовлений недостатнім впровадженням енергозберігаючих технологій, а не розвитком високих технологій виробництва.

Безперервне зростання населення планети підвищує потребу в енергоресурсах. За прогнозами, до 2040р число людей на Землі може досягти 9 мільярдів, порівняно з нинішніми 8 мільярдами. Організація International Energy Outlook прогнозує, що глобальне споживання енергії збільшиться на 56% порівняно з 2010 роком. Це пов'язано не лише з ростом населення, але й з підвищенням рівня життя в таких країнах як Індія, а також з поширенням енергоємних технологій у США, Китаї, Південній Кореї та інших країнах[3].

Зростаючий попит на енергію призводить до подорожчання ресурсів. Збільшення видобутку вуглеводнів супроводжується значними екологічними проблемами, оскільки їх споживання спричиняє посилення парникового ефекту, підвищення температури та серйозні кліматичні зміни. Крім того, темпи видобутку значно перевищують швидкість утворення вуглеводнів у надрах Землі. Наприклад, аварія на нафтовій платформі в Deepwater Horizon у 2010 році, яка завдала значної шкоди екології, ще раз підтвердила небезпеку використання вуглеводневого палива (рис. 1.1).

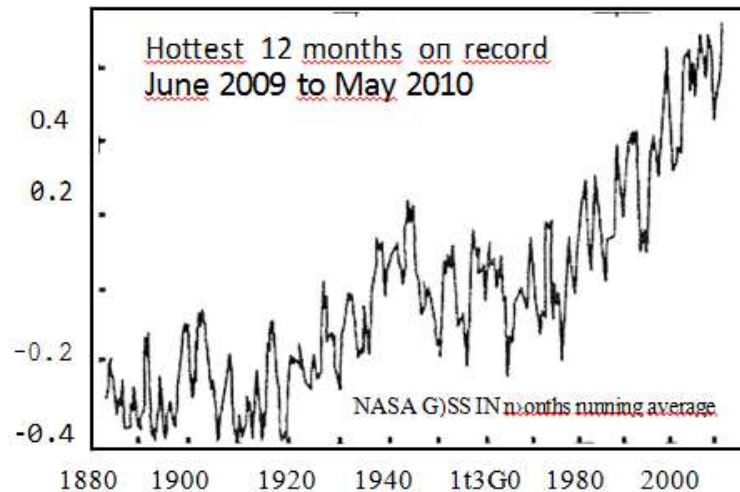


Рисунок 1.1 - Збільшення температури на Землі, потенційно внаслідок парникового ефекту, спричиненого надмірним використанням вуглеводнів

В сфері ядерної енергетики також зберігається недовіра після аварій на Чорнобильській АЕС та "Фукусімі". Ці події спонукали країни до пошуку екологічно чистих альтернативних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова, гідроенергія та геотермальні ресурси. Отримання необхідної форми енергії базується на перетворенні одних видів енергії в інші. Наприклад, хімічна енергія вугілля, нафти, газу, біомаси чи водню перетворюється на теплову з ефективністю близько 90%. Теплова енергія, своєю чергою, може бути перетворена в механічну із ККД до 60% (рис. 1.2).

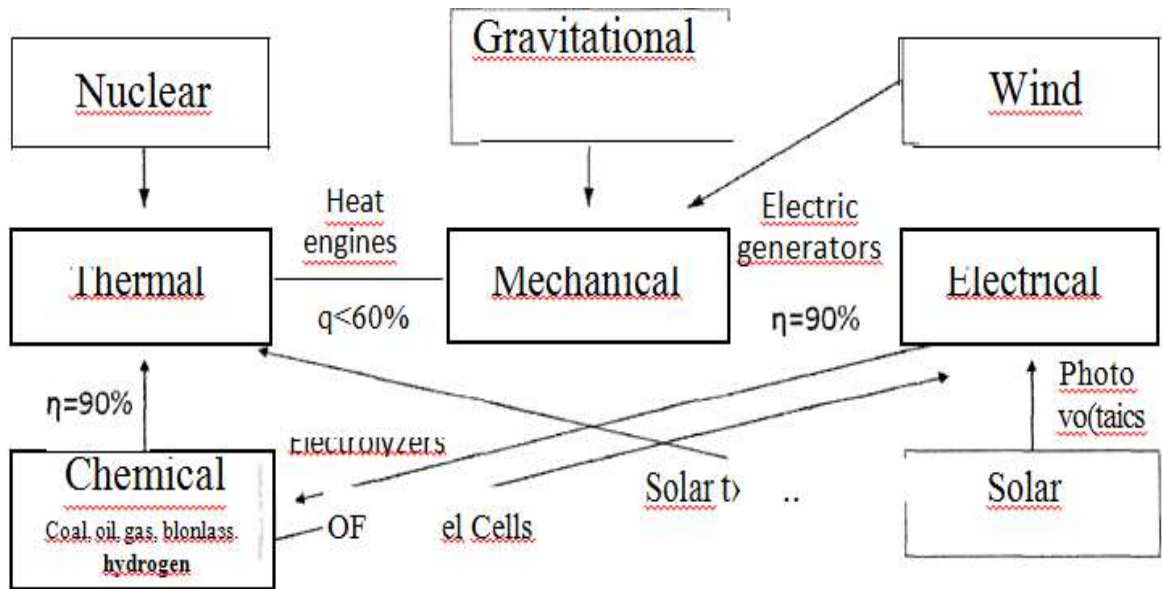


Рисунок 1.2. — Ефективність перетворення енергії

Цей принцип застосовується в двигунах внутрішнього згоряння, де тепла енергія спричиняє тиск, що рухає поршні, перетворюючи тиск у механічний рух, який використовується, наприклад, у транспортних засобах. Однак частина теплової енергії втрачається під час роботи таких двигунів.

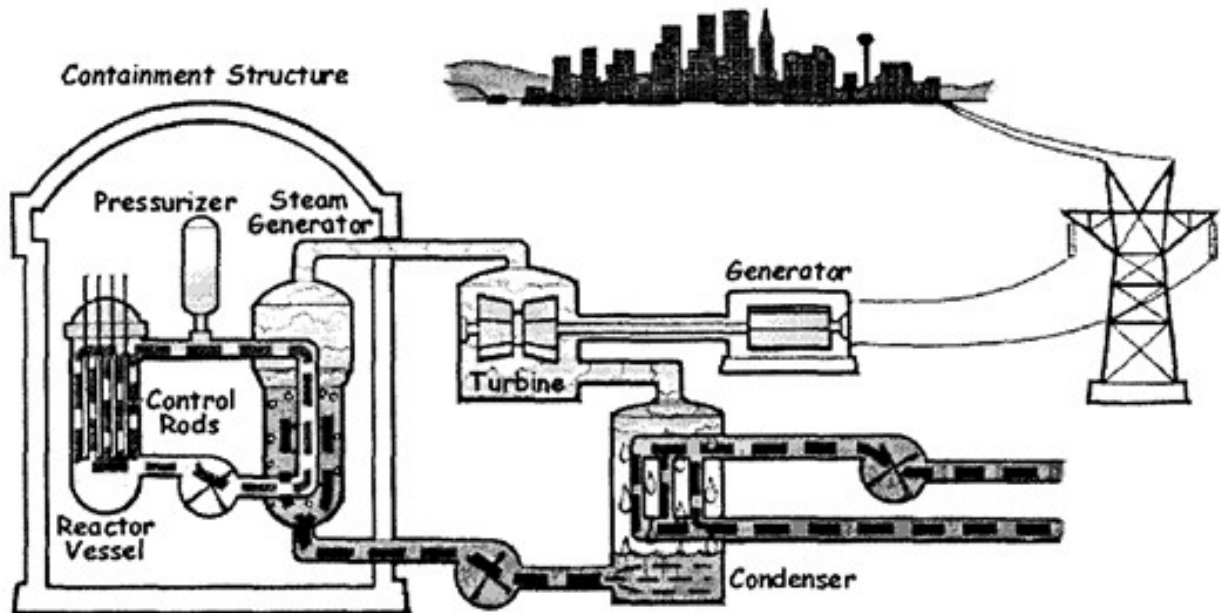


Рисунок 1.3. - Процес трансформації ядерної енергії в електричну

Ядерна енергія, що виділяється під час ядерних реакцій, перетворюється на теплову і використовується для роботи атомних електростанцій (рис. 1.3). Отримане тепло нагріває воду, перетворюючи її на пару під високим тиском. Ця пара приводить у рух турбіни, які через генератори конвертують теплову енергію спочатку в механічну, а потім в електричну. Коефіцієнт корисної дії такого процесу становить близько 30%. Основними перевагами ядерної енергетики є низький вплив на навколишнє середовище під час звичайної експлуатації порівняно з вуглеводнями, а також можливість отримання радіоактивних ізотопів для медицини та промисловості. Однак серед серйозних недоліків – ризик масштабних екологічних катастроф у разі аварій чи помилок під час роботи станцій [1].

Перетворення механічної енергії на електричну

Механічна енергія може бути ефективно перетворена на електричну за допомогою генераторів із ККД до 90%. Джерелами механічної енергії є, наприклад, вітер, вода або гравітаційні сили в припливних басейнах. У випадку вітрових електростанцій лопаті вітряків (рис. 1.4) обертаються під дією вітру і приводять у рух генератори через систему передач. Головний недолік таких станцій – залежність від погодних умов, як-от швидкості та напрямку вітру, що ускладнює стабільне виробництво електроенергії. Крім того, вітрові турбіни створюють загрозу для птахів, які можуть травмуватися чи загинути при зіткненні з їхніми лопатями.



Рисунок 1.4. - Генерація електроенергії з використанням енергії вітру

Подібним чином вода обертає турбінні лопаті в гідроелектростанціях, що дозволяє виробляти електроенергію. Використання енергії припливів для генерації електрики є новим і перспективним напрямом. Його головна перевага полягає в передбачуваності припливів і відпливів, завдяки чому час виробництва електроенергії можна точно планувати. Це вигідно відрізняє припливні станції від вітрових, де нестабільність або відсутність вітру ускладнюють постійну генерацію енергії[1].

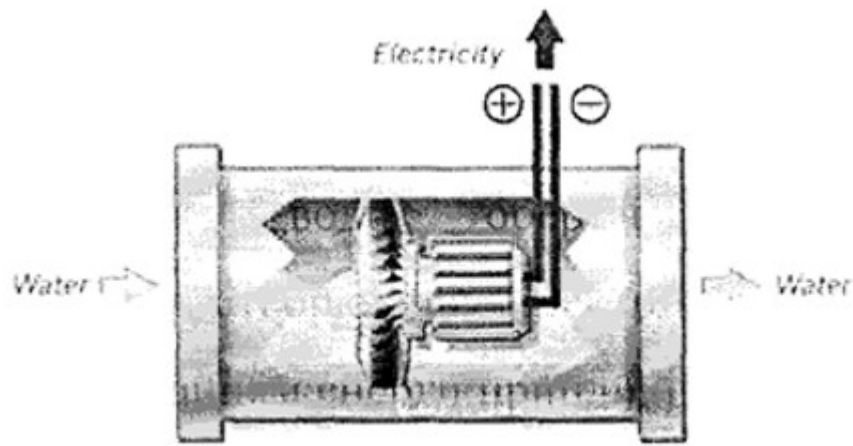


Рисунок 1.5. - Генерація електроенергії з використанням енергії води

Як показано на рис. 1.6, під час припливів або відпливів рух води змушує обертатися підводні лопаті. Це створює механічну енергію, яка перетворюється в електричну за допомогою генератора.

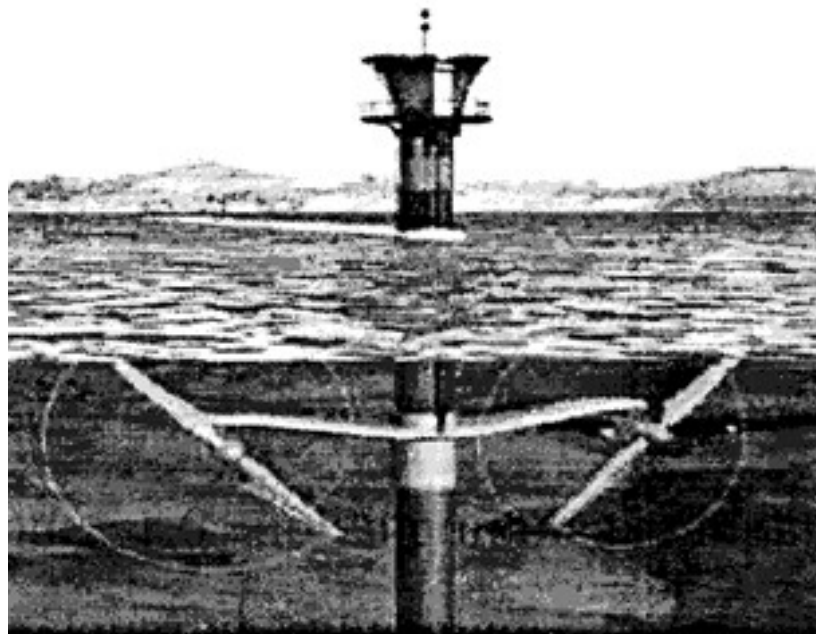


Рисунок 1.6. - Генерація електроенергії з використанням енергії припливів

Як зазначено раніше, для отримання електричної енергії хімічна, теплова або ядерна енергія зазвичай спочатку перетворюється в

механічну, а потім з неї отримується електрична. Проте сучасні технології дозволяють напряму перетворювати певні види енергії в електричну. Електроенергія є однією з найбільш зручних форм, адже її можна ефективно передавати на великі відстані з мінімальними втратами.

Однією з таких технологій є термоелектрогенератори — пристрої, що прямо перетворюють теплову енергію в електричну за допомогою термоелементів (елементів Пельтьє). Їхня робота базується на ефекті Зеєбека — явищі, при якому електрорушійна сила виникає через нагрів з'єднання двох різних провідників[2].

Сонячна енергія також може безпосередньо перетворюватися в електричну завдяки фотоефекту в напівпровідниках. Ефективність комерційних сонячних батарей нині становить близько 15-20%. Крім того, сонячна енергія може перетворюватися в теплову, яка називається сонячною тепловою енергією. Цей принцип використовують сонячні термальні колектори для нагріву води, де вода проходить через трубки, зроблені з матеріалу з властивостями чорного тіла. Чорне тіло — це об'єкт, який повністю поглинає зовнішнє світло, не випромінюючи його. Використовуючи теплові двигуни є можливість перетворити теплову енергію в механічну після чого на електричну за допомогою генераторів[1].

Хімічна енергія може безпосередньо перетворюватися в електричну завдяки паливним коміркам («fuel cells»), які зазвичай використовують водень. Їхній принцип роботи полягає в хімічній реакції між окиснювачем (киснем з повітря) і паливом (воднем), що дозволяє отримати електроенергію з ефективністю до 60%. Зворотний процес — перетворення електричної енергії в хімічну (регенерація комірки), відомий як електроліз, має ефективність від 50 до 80%.

1.2. Аналіз перспектив розвитку сонячної енергетики

Станом на 2012 рік 68% світового виробництва електроенергії здійснювалося за рахунок використання газу, нафти та вугілля (рис. 1.7.), тобто невідновлювальних вуглеводнів, які завдають значної шкоди довкіллю. Атомні електростанції (АЕС) забезпечували 11% генерації, пропонуючи електроенергію з найнижчою собівартістю серед усіх джерел. Відновлювальні джерела займали 19%, причому 16% припадало на гідроелектростанції (ГЕС). Перевага ГЕС серед відновлювальних джерел енергії зумовлена великою кількістю річок у світі, можливістю їх безперервної роботи протягом доби та високою ефективністю перетворення механічної енергії турбін на електричну. Однак ГЕС мають і суттєві недоліки, серед яких негативний вплив на екологію регіонів, де вони розташовані. Це включає значну шкоду рибним ресурсам, а також порушення природного балансу флори та фауни[1].

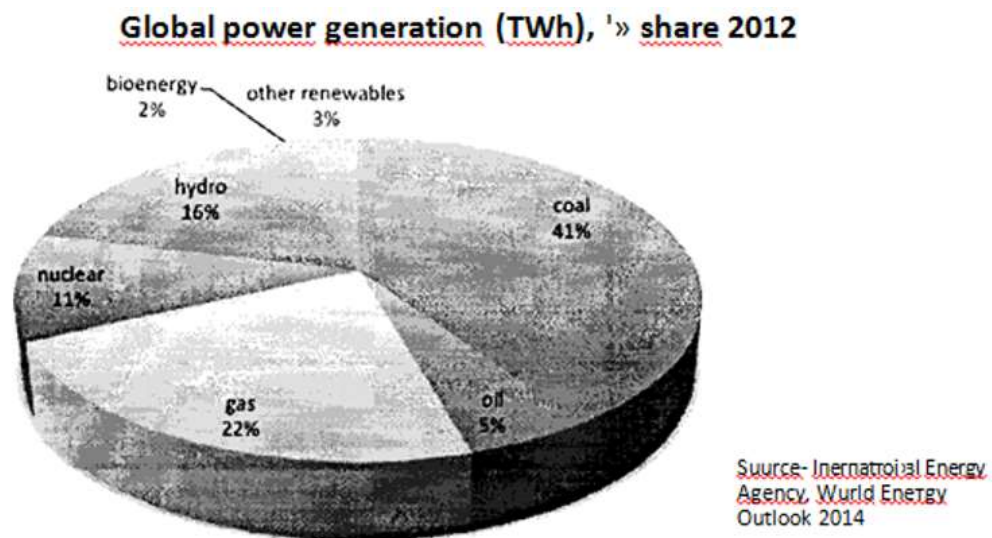


Рисунок 1.7 - Розподіл джерел генерації електроенергії у світі

Недоліки сучасних методів виробництва електроенергії сприяють активному розвитку сонячної енергетики та технологій сонячних батарей.

Сонячна батарея (рис. 1.8) складається з передньої та задньої контактних пластин, напівпровідників р- і n-типу, а також контактного шару між ними. Поглинаючи сонячне світло, напівпровідник р-типу генерує вільні електрони та "дірки", створюючи електричну енергію.

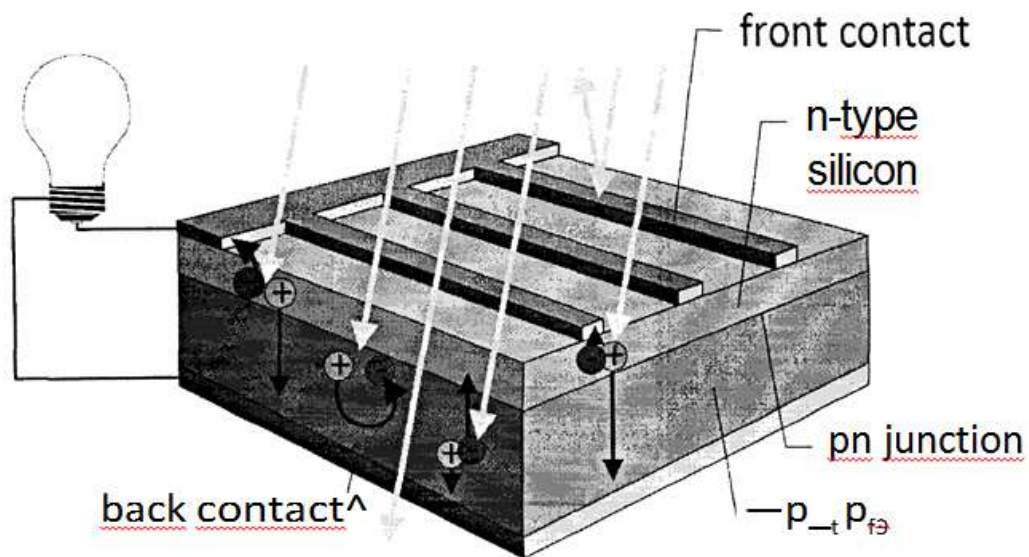


Рисунок 1.8- Загальна структура сонячної батареї з кристалічного кремнію

1.3. Класифікація технологій сонячних батарей

Сонячні батареї поділяються за двома критеріями:

- технологічними поколіннями;
- матеріалами, з яких виготовлені напівпровідники.

На рис. 1.9 показано технології виготовлення сонячних батарей. Горизонтальна вісь ілюструє вартість одного квадратного метра батареї у доларах. Цей параметр є важливим, оскільки сучасні вискоефективні технології часто потребують дорогих матеріалів або складних виробничих процесів. Через це старіші технології можуть виявитися економічно

вигіднішими. Наприклад, батареї першого покоління характеризуються вищою ефективністю, проте їх виробництво є значно дорожчим[1].

На вертикальній осі відображено ефективність роботи батарей у стандартних умовах, які передбачають сонячне випромінювання інтенсивністю 1000 Вт/м^2 і повітряний масовий коефіцієнт, відповідний зенітному куту $48,2^\circ$. Ефективність батареї визначає частку сонячного випромінювання, яку вона здатна перетворити на електричну енергію.

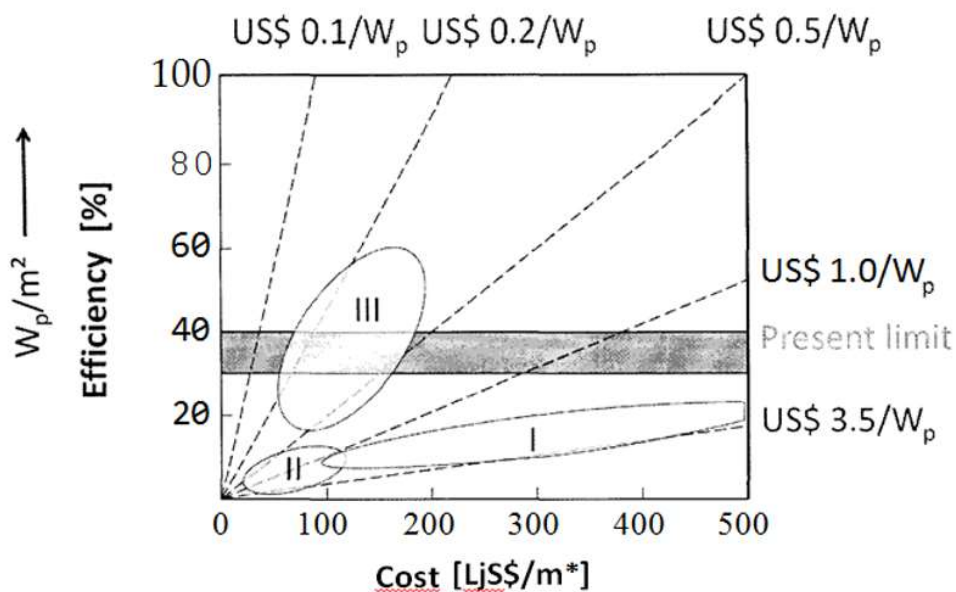


Рисунок 1.9. - Покоління технологій сонячних батарей

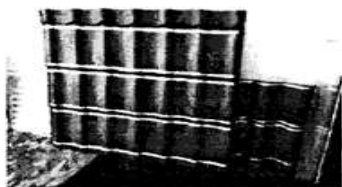
Якщо сонячна батарея має ефективність 10%, то в стандартних умовах із сонячним випромінюванням 1000 Вт/м^2 вона генеруватиме максимальну потужність 100 Вт. Сонячні батареї першого покоління (зона I на рис. 1.9) створені з чистих напівпровідникових матеріалів, таких як кристалічний кремній. Завдяки мінімальній кількості дефектів у структурі, ці матеріали мають низькі енергетичні втрати та забезпечують високу ефективність. Проте виробництво таких високоякісних матеріалів є дорогим, що зумовлює високу вартість батарей — приблизно 3,5 долара за 1 Вт пікової потужності (рис. 1.10) [3].



Рисунок 1.10 - Перше покоління технологій сонячних батарей на чистому кристалічному кремнію

Сонячні батареї другого покоління (зона II на рисунку 1.9) виготовляються з тонкоплівкового кремнію (рис. 1.11). Їх виробництво значно здешевилося, проте ефективність знизилася через більшу кількість дефектів у матеріалі. Ці батареї коштують приблизно 1 долар за 1 Вт пікової потужності. На графіку блакитна зона позначає сучасні досягнення у виробництві комерційних сонячних батарей. Це так звана межа Шоклі-Квайсера, яка теоретично обмежує ефективність батарей на рівні 33-34%. Однак сонячні батареї третього покоління, що використовують новітні матеріали, можуть перевищити цей теоретичний ліміт, і лабораторні дослідження вже довели їхній потенціал.

Thin-film silicon



Superstrate solar cell structure

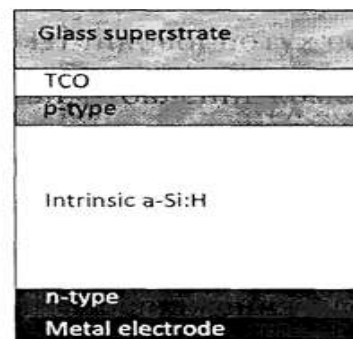


Рисунок 1.11 - Друге покоління технологій сонячних батарей на тонкоплівковому кремнію

У 2012 році ефективність сонячних батарей досягла 44%, вдвічі перевищуючи сучасні показники. Крім того, сонячні батареї третього покоління (зона III на рисунку 1.9) дозволяють створювати дешевші та ефективніші пристрої, використовуючи такі матеріали, як арсенід галію та органічний напівпровідник пентацен. Сонячні батареї також можна класифікувати за матеріалами напівпровідників-адсорбентів, які поглинають сонячне випромінювання. Більшість сучасних батарей (90%) виготовляються з пластин кристалічного кремнію і належать до першого покоління (рис. 1.12). Інша технологія використовує дуже тонкі кремнієві плівки, розміщені на основі зі скла (рис. 1.13) або на гнучкому матеріалі. В таких батареях кремній може бути аморфним або нанокристалічним, що відносить їх до другого покоління. Ще одна технологія, що також відноситься до другого покоління, використовує телурид кадмію (рис. 1.14). Сонячні батареї на основі CdTe займають значну частину ринку тонкоплівкових батарей[2].

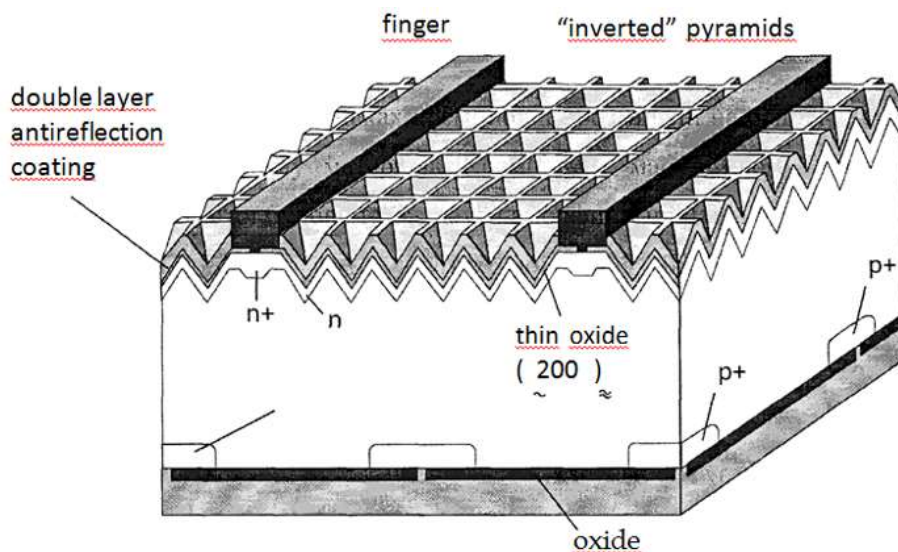


Рисунок 1.12. — Конструкція сонячних батарей, що використовують пластини з кристалічного кремнію.

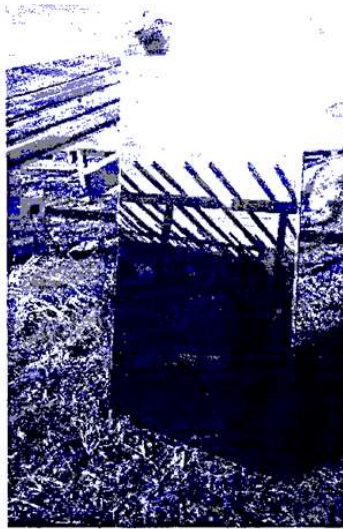


Рисунок 1.13 - Сонячна батарея Solar GS-50

Cadmium Telluride



Source: <http://www.flickr.com/photos/ferriday/5615938100/>

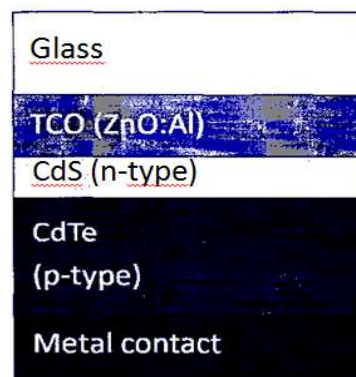


Рисунок 1.14. - Конструкція тонкоплівкових сонячних панелей, що використовують телурид кадмію.

Що одна з таких технологій, вона використовує CIGS (селенід галію-індію-міді). Вона також відноситься до II покоління і має найвищу ефективність серед сонячних батарей даного типу, що становить 20% (рис. 1.15).

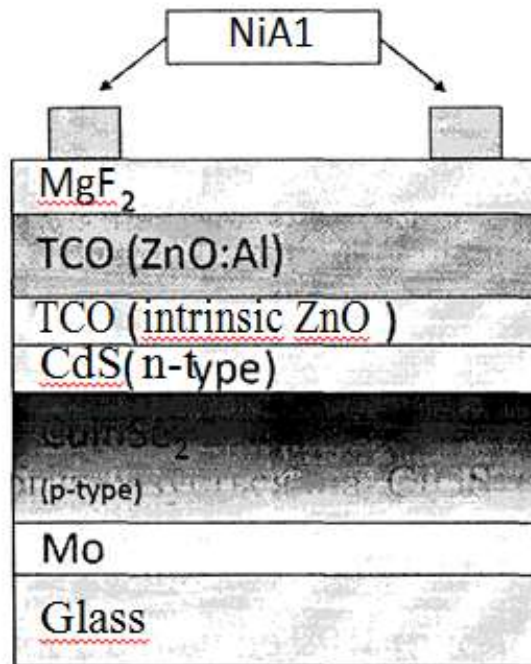


Рисунок 1.15. - Конструкція тонкоплівкових сонячних панелей, що використовують CIGS

Тонкоплівочна технологія сонячних батарей, що використовує органічні матеріали, є дуже перспективною. Такі батареї, відомі як пластичні сонячні батареї (рис. 1.16), мають гнучку структуру і можуть бути використані як енергогенеруючі матеріали для покрівлі, а також у таких сферах, як палатки, спортивний одяг, купольні дахи та інші.

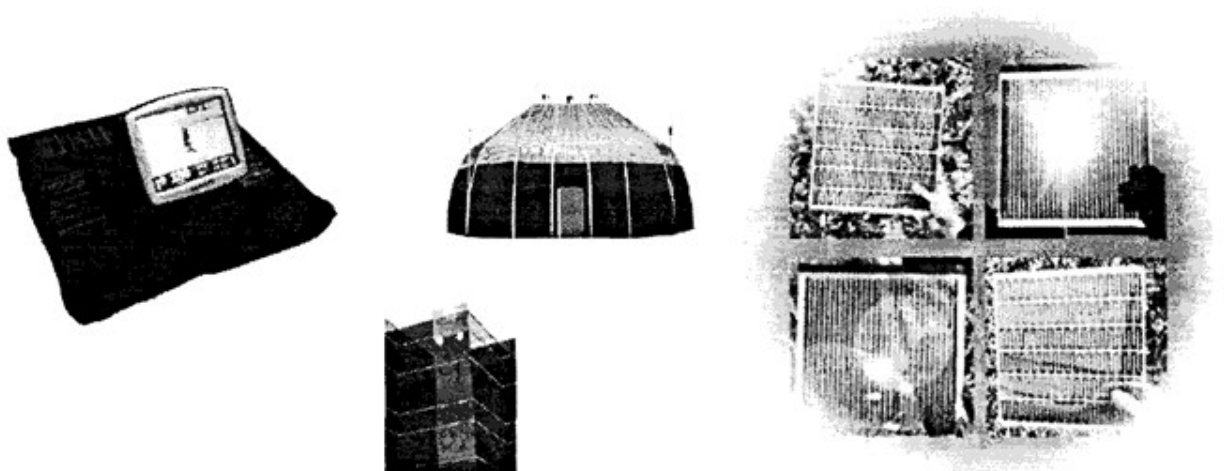


Рисунок 1.16. - Пластичні тонкоплівочні сонячні батареї

Ця технологія ґрунтується на застосуванні провідних органічних полімерів або молекул, здатних адсорбувати та транспортувати заряджені частинки. Іншою перспективною тонкоплівковою технологією є сонячні батареї, що працюють на основі сенсibiliзованих барвників. Це фотоелектрохімічна система, в якій напівпровідниковий матеріал розташовується між фотоанодом та електролітом.

Використання напівпровідникових матеріалів, таких як арсенід галію (GaAs) разом з германієвими пластинами та багатоточковими з'єднаннями між шарами різних типів напівпровідників дозволило досягти рекордної ефективності сонячних батарей. Технологія метаморфічного потрійного з'єднання дозволила перевищити теоретичний ліміт ефективності за шкалою Шоклі-Квайсера, досягнувши 44%. Ці досягнення стосуються сонячних батарей третього покоління, які використовують інноваційні технології, зокрема багатоточкові з'єднання, наночастинки, проміжні енергетичні заборонені області та спектральні конвертери. Завдяки цим підходам вдалося створити високоефективні сонячні батареї з невеликою площею, зазвичай не більше 1 см². Сонячні батареї 3 покоління активно використовуються в космічних пристроях[2].

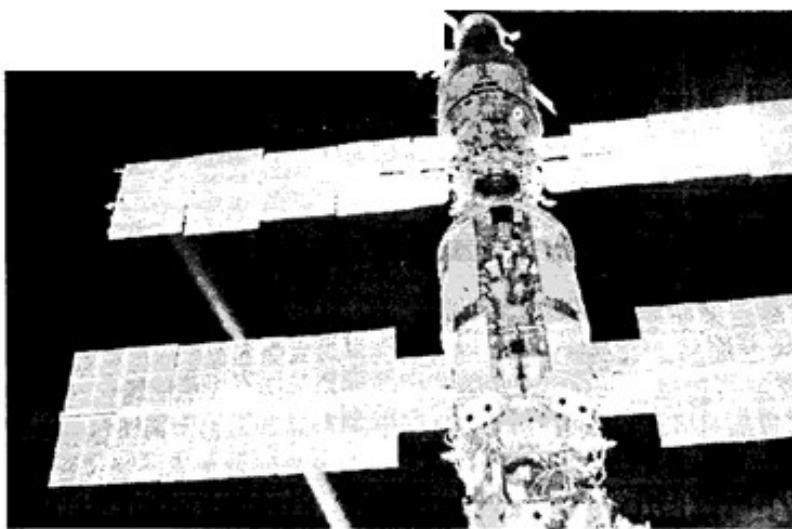


Рисунок 1.17 – Космічні впровадження сонячних батарей третього покоління

Best Research-Cell Efficiencies

tNREL

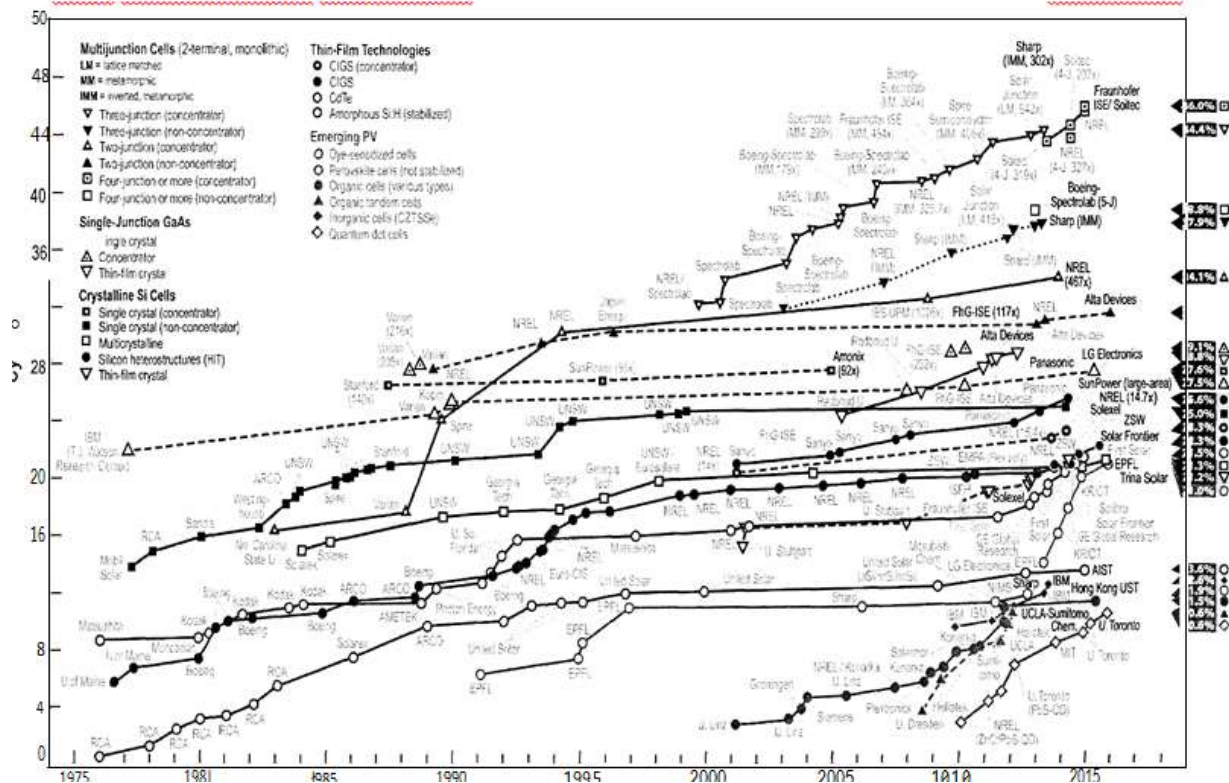


Рисунок 1.18 – Дослідження світових досягнень з впровадження сонячних батарей

Огляд графіка досліджень, спрямованих на підвищення ефективності сонячних батарей за останні 40 років (рис. 1.18), показує, що досягнуті результати в цій сфері значно покращились.

На даний момент в лабораторних умовах було досягнуто ефективності до 46%, використовуючи технологію багатоточкових з'єднань у сонячних батареях. Це свідчить про значний прогрес у розробці нових матеріалів та методів, які дозволяють перевищити попередні межі ефективності, наближаючи сонячні батареї до їх теоретичного потенціалу.

1.4. Аналіз розвитку потужностей сонячної енергетики у світі

Станом на 2013 рік світова потужність сонячних батарей досягла 138,9 ГВт. Порівнюючи, загальна потужність виробництва енергії у світі на 2012р. становить 20202 ГВт, що свідчить про те, що сонячна енергетика дорівнює близько 0,7% від загальної потужності. Ці цифри відображають певне зростання сонячної енергетики, однак її частка ще є досить малою порівняно з іншими джерелами енергії. З 60% світових потужностей генерації, що базуються на вуглеводнях, очевидно, що їх використання завдає серйозної шкоди екології. Інші 16% потужностей займає атомна енергетика, а 19% — гідроенергетика. Враховуючи негативний вплив вуглеводнів на довкілля, сонячна енергетика має великий потенціал для подальшого розвитку, особливо у контексті зменшення екологічних проблем[1].

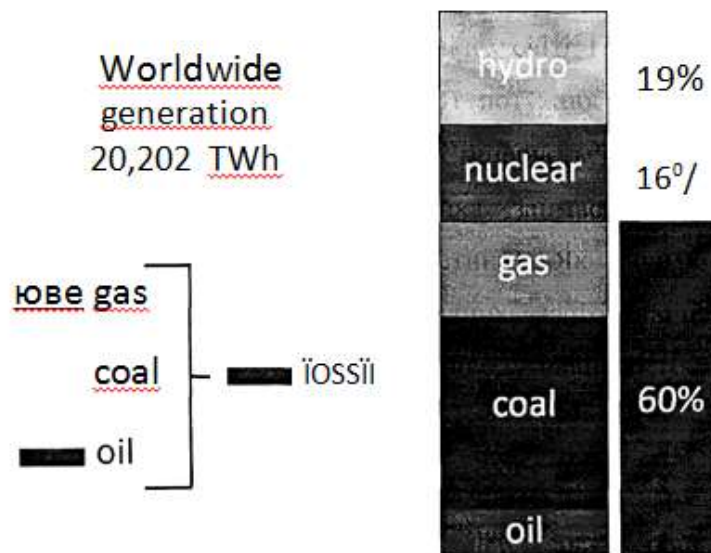


Рисунок 1.19 – Світові потужності електрогенерації

Проаналізуємо перспективи розвитку різних видів енергетики. Атомна енергетика, хоча й пропонує дешеву електроенергію, на сьогодні

не має значного розвитку через високі витрати на будівництво атомних електростанцій (АЕС) і недовіру суспільства. В країнах, таких як Німеччина, уже закривають існуючі АЕС, що призведе до зменшення їхньої частки в загальному виробництві енергії. Гідроенергетика також розвивається повільно через високу вартість великих гідроелектростанцій, хоча малі ГЕС стають популярними в країнах з численними річками. Однак і атомна, і гідроенергетика потребують значних інвестицій у створення інфраструктури для переміщення та використання електроенергії. Вітрова і сонячна енергетика мають перевагу у гнучкості використання. Ефективність вітрової енергетики залежить від місцевих умов, зокрема від сили вітру та інфраструктури. Вона є менш ефективною у міських умовах і краще працює в сільських або прибережних зонах. На відміну від цього, сонячна енергетика показує стабільне щорічне зростання на 40% протягом останнього десятиліття та має потенціал ефективно використовуватись в умовах міста. Вона є екологічно чистою, безпечною для природи і має привабливий зовнішній вигляд. Європейські країни активно підтримують її розвиток, субсидуючи до 70% вартості сонячних електростанцій для своїх громадян. Водночас, всі ці види енергетики мають одну спільну характеристику — непостійність генерації. Наприклад, сонячна енергетика генерує електроенергію тільки в день, а вночі не працює, що знижує її ефективність. Для атомних станцій коефіцієнт ємності (C_f) становить 0,9, тобто вони генерують енергію 90% часу, тоді як для гідроелектростанцій цей показник лише 0,4 через сезонні коливання рівня води. Вітрові електростанції генерують енергію 30% часу на рік, а для сонячних батарей коефіцієнт ємності C_f становить 0,15 через короткий світловий день у багатьох країнах. Враховуючи ці фактори, оптимальний вибір джерела енергії залежить від географічних умов. У цьому проекті ми зосередимося на розвитку сонячної енергетики, яка показує найбільше зростання в Європі та світі[2].

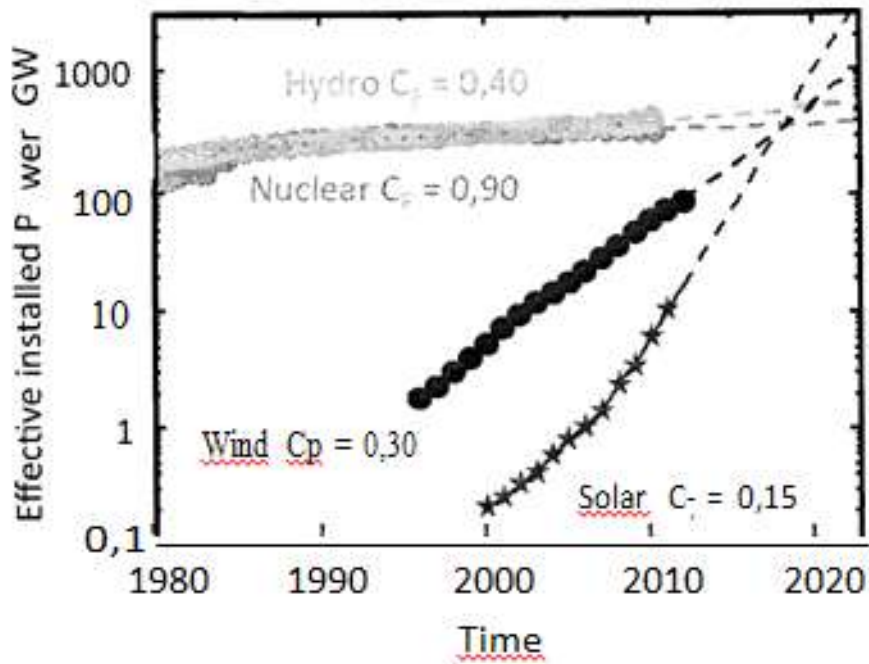


Рисунок 1.20. - Прогноз розвитку потужностей генерації електроенергії у світі

Вперше з 2003 року, а саме в 2013 році, щорічний приріст частки сонячної енергетики в Азії перевищив зростання в Європі (див. рис. 1.21), що свідчить про стрімкий розвиток цієї галузі в Азії.

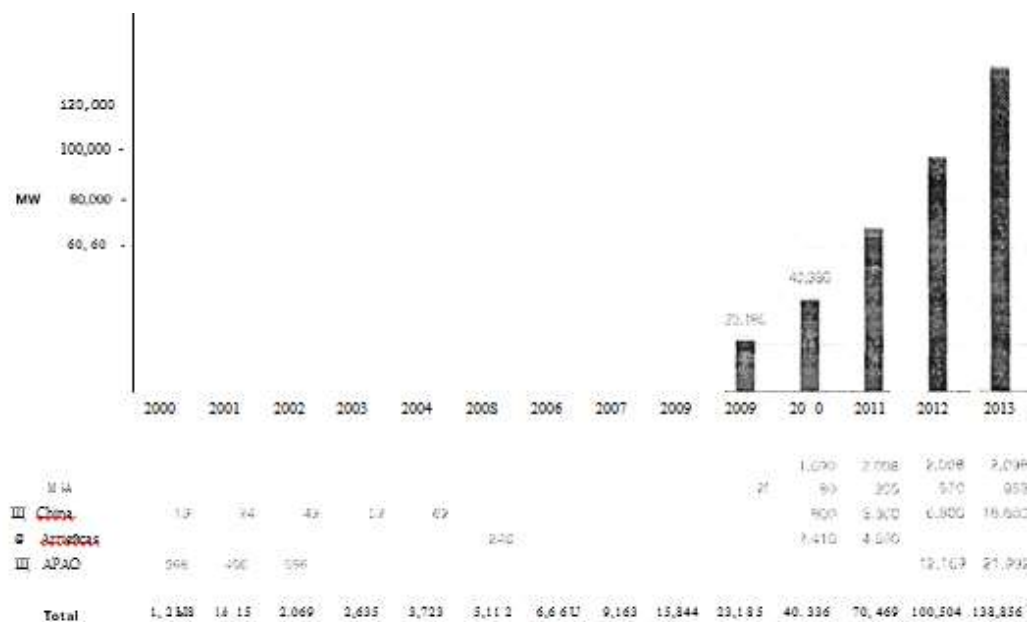


Рисунок 1.21. - Розвиток потужностей сонячної енергетики у світі

На рис. 1.22 показано потужності сонячної енергетики в Європі. Тут також можна зазначити 3% частку України на Кримському півострові (330 кВт). Проте, через окупацію Криму росією, подальший розвиток сонячної енергетики на півострові став значно обмеженим.

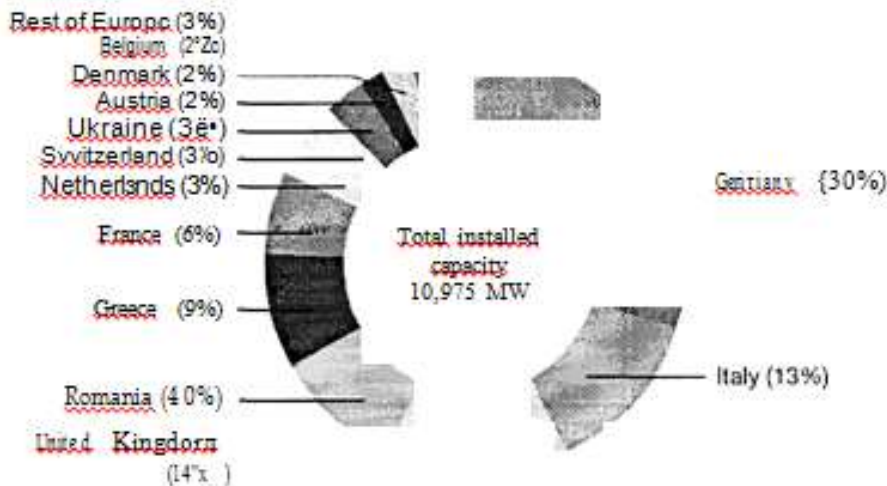


Рисунок 1.22 - Потужності сонячної енергетики в Європі

Частка Німеччини у світі рис. 1.23 зумовлено рішенням відмовитися від атомної енергетики через негативну позицію суспільства. А також активним субсидювання малих сонячних електростанції для німецьких громадян

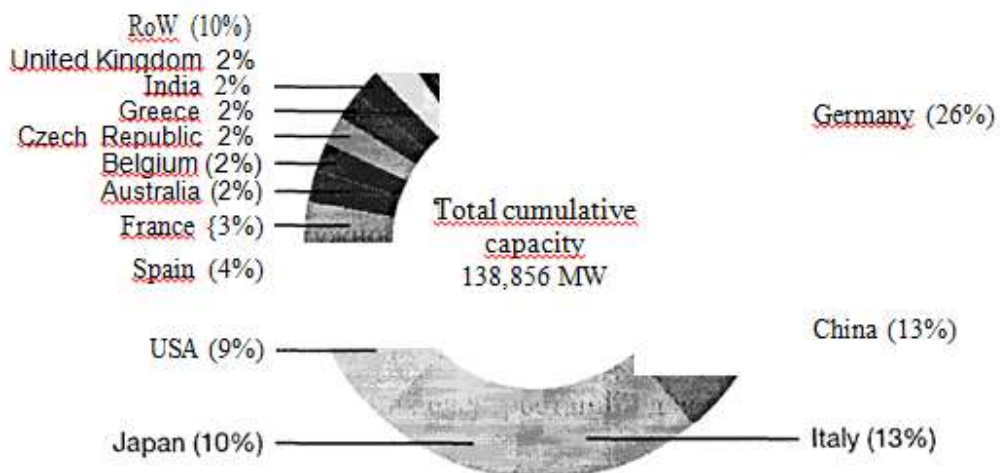


Рисунок 1.23 - Потужності сонячної енергетики у світі

Проаналізуємо ринок споживання та виробництва СБ у світі.

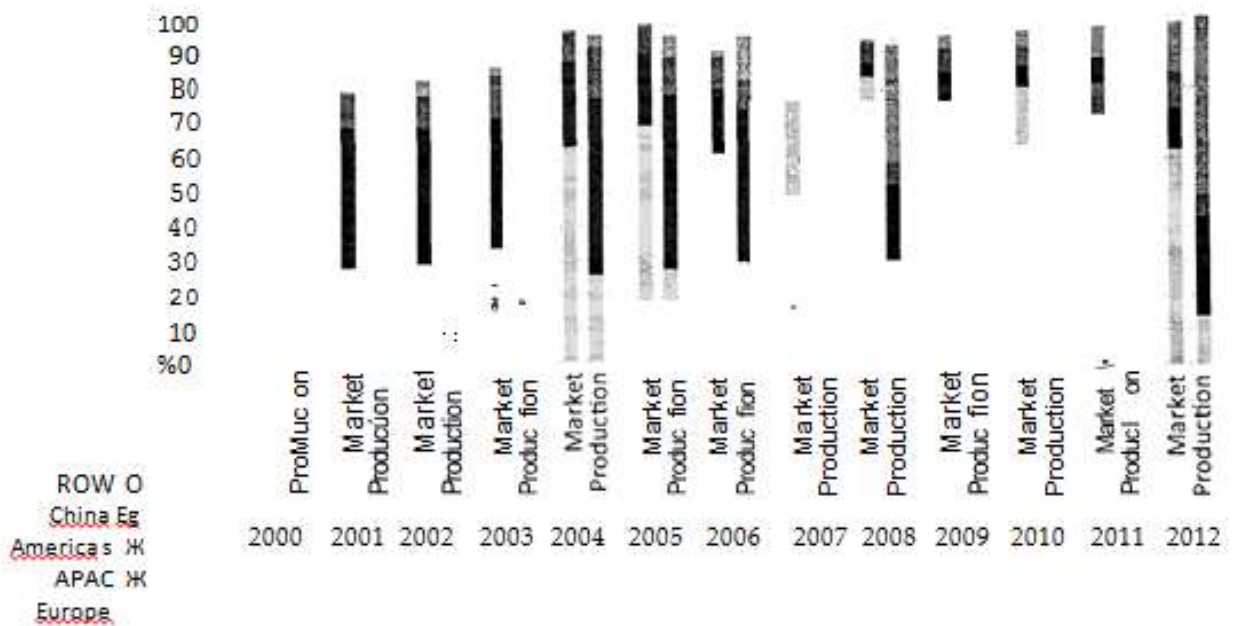


Рисунок 1.24. - Ринок споживання та виробництва СБ у світі

Як показує аналіз, у 2000 році найбільшу частку у виробництві та споживанні сонячних батарей (СБ) займав азіатсько-тихоокеанський регіон (APAC). Однак з часом Китай значно прискорив розвиток своєї сонячної енергетики, і до 2013 року темпи приросту встановлених потужностей у Китаї перевищили європейські. Це відбулося, хоча європейський ринок залишався найбільшим споживачем СБ, а Китай став найбільшим виробником сонячних батарей у світі. Наразі Європа стикається з проблемою: хоча технології виробництва та інновації розробляються в Європі, основне виробництво готової продукції перемістилося до Китаю, що призводить до втрати робочих місць і високого рівня безробіття в Європі.

Learning curve: PV modules, systems

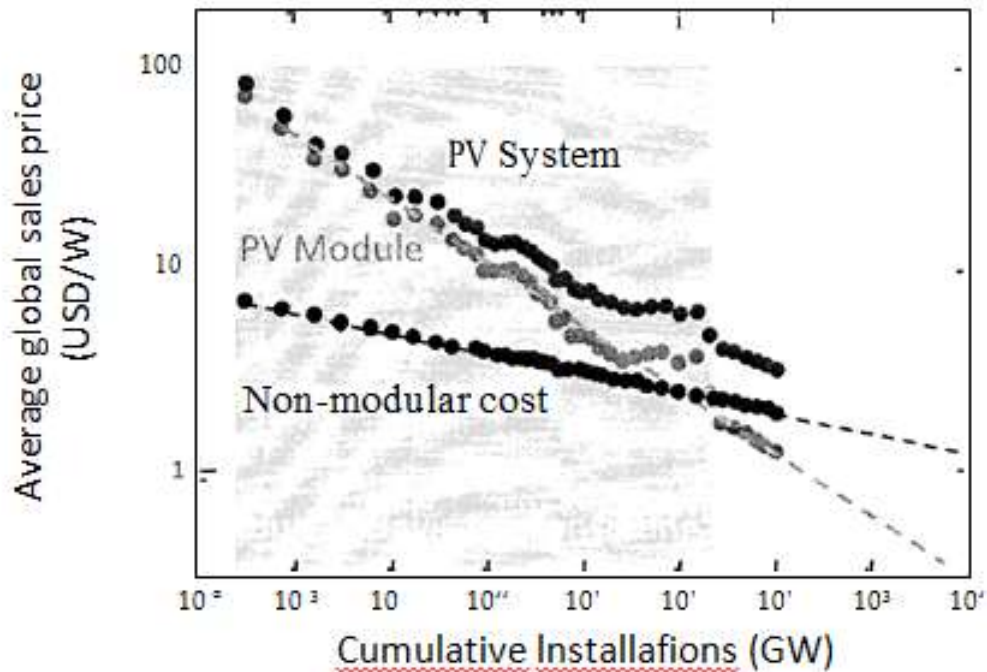


Рисунок 1.25. - Прогноз зміни вартості сонячних модулів та сонячної електростанції (PV System)

Тимчасом ціна додаткових компонентів (не модульних), таких як інвертори, акумулятори та перетворювачі напруги, що складають велику частину вартості сонячної електростанції, зменшується повільно. З цієї причини загальна вартість сонячних електростанцій знижується не так швидко, оскільки частка сонячних батарей у загальній вартості системи часто співпадає з вартістю інших додаткових компонентів[3].

1.3. Формулювання завдання для дипломного проекту

Основною метою цієї магістерської роботи є розробка проекту автономного електрогенератора на базі сонячних панелей (PV системи).

Для досягнення цієї мети передбачається виконання таких завдань:

- Проаналізувати технології відновлювальних джерел енергії

- Виконати оцінку перспективи розвитку сонячної енергетики та технологій виробництва сонячних батарей;
- Здійснити дослідження різних типів топологій PV-систем;
- вивчити критерії для вибору компонентів PV систем;
- розробити структуру автономної PV системи;
- Розрахувати автономну PV систему та обґрунтувати вибір її компонентів.

2 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЕКТУ ГЕНЕРАТОРА НА СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЯХ

2.1 Розроблення структури проекту генератора на сонячних панелях

Розробка генератора на основі сонячних батарей або фотовольтної (PV) системи розпочинається з визначення її структури. Існують три основні типи PV систем: автономна, мережева та гібридна. Стандартна структура автономної PV системи включає сонячні панелі (PV масив), блок балансування системи (Balance of System) та блок навантаження (Loads). Важливо зауважити, що терміни «сонячні панелі» та «модулі» часто використовуються взаємозамінно, хоча вони мають різні значення. Сонячні панелі зазвичай є жорстко з'єднаними прямокутними елементами, тоді як модулі можуть бути гнучкими та мати різні форми. Блок сонячних модулів генерує електричну енергію за допомогою сонячного випромінювання, блок балансування накопичує енергію та перетворює її в стандартну напругу для споживачів, а блок навантаження споживає цю енергію. Така автономна система використовує енергію від сонячних панелей в сонячні дні або енергію з акумуляторів у разі відсутності сонячного світла[3].

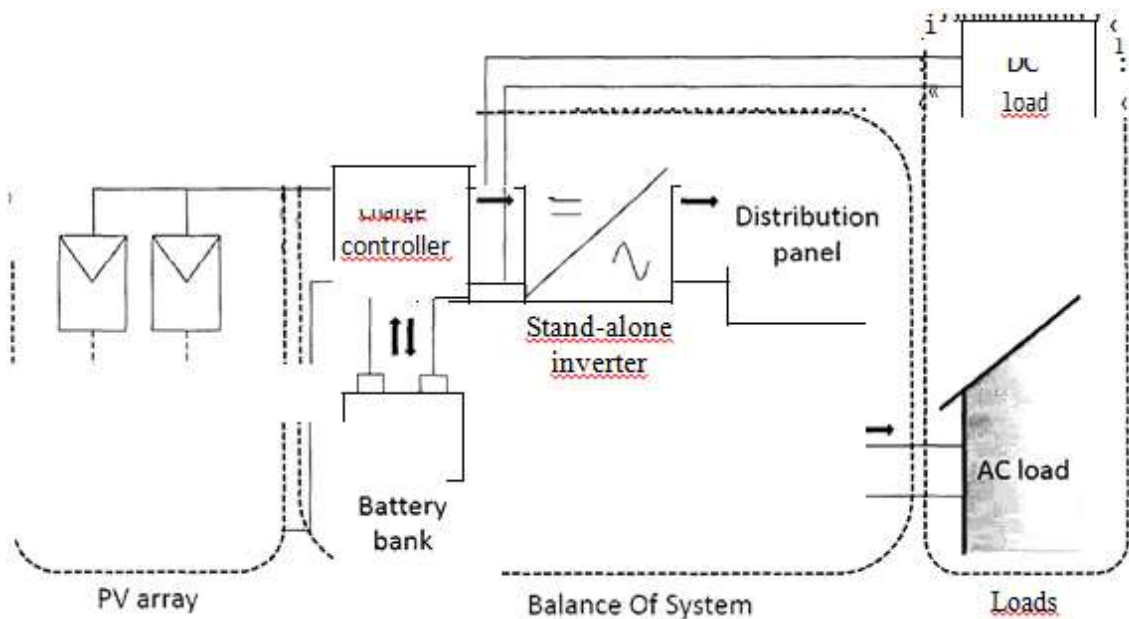


Рисунок 2.1 – Структура автономної PV системи

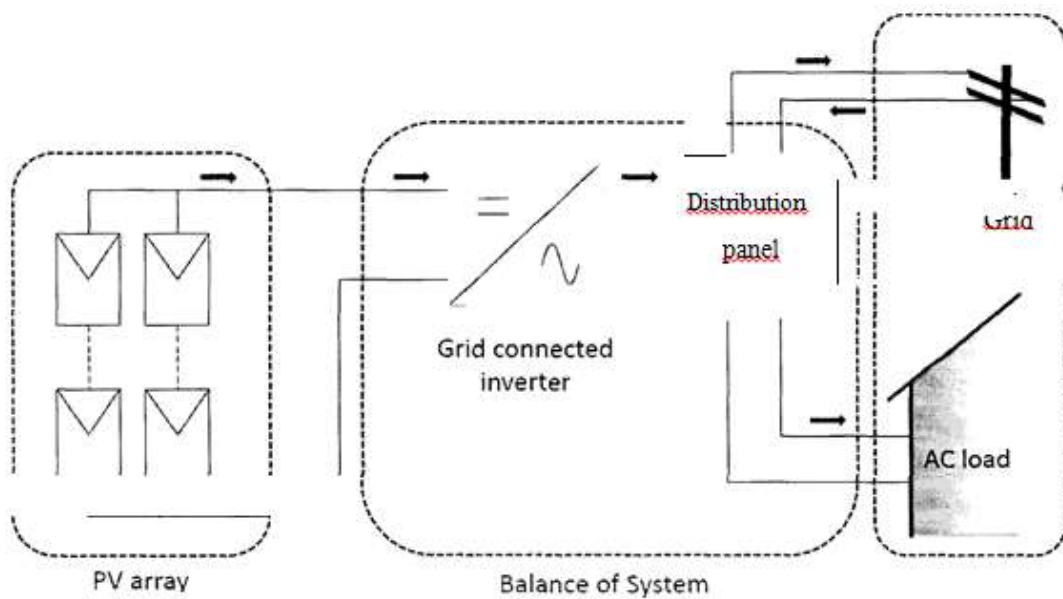


Рисунок 2.2 – Структура мережевої PV системи

Мережева система відрізняється від автономної тим, що блок балансування не накопичує енергію, а відразу перетворює її в стандартну напругу для підключення до мережі. Усі генеровані енергоресурси використовуються для потреб споживача, а надлишки передаються в загальну електричну мережу. Якщо енергії не вистачає, споживач

отримує її з мережі. Така система є особливо ефективною в Німеччині, де держава фінансує до 70% вартості таких установок. Змішана система поєднує переваги обох типів, зберігаючи енергію в акумуляторах, що дозволяє поєднувати вигоди мережевої системи з автономними можливостями[4].

2.2. Аналіз видів і структури пристрої перетворення енергії в PV системах

Для перетворення електроенергії, що генерується сонячними панелями з постійного струму (DC) в змінний (AC), використовуються інвертори. В залежності від режиму роботи PV систем, інвертори поділяються на три типи:

1. автономні (standalone);
2. мережеві (grid-connected);
3. двохранімні (bimodal).

Автономні інвертори призначені для живлення електрообладнання споживача, тоді як мережеві інвертори використовуються для підключення до стандартної електричної мережі. Двохранімні інвертори можуть працювати в обох режимах і застосовуються в гібридних системах. Окрім перетворення сигналу, інвертори виконують також функцію максимізації потужності (MPPT трекінг), що забезпечує найефективнішу роботу системи. Інвертори класифікуються за типом реалізації на кілька видів:

- центральні інвертори, які застосовуються в системах з потужністю від кількох кіловат;
- модульні або мікроінвертори, що використовуються для систем потужністю від 50 до 500 Вт;

- стрічкові інвертори, які працюють в системах від 500 Вт до кількох кіловат;
- мультістрічкові інвертори з потужністю від 1 кВт до 10 кВт[3].

Центральні інвертори є найпростішими і найпоширенішими, але мають обмеження у масштабуванні та можуть знижувати ефективність через різноманітні характеристики окремих сонячних модулів. Модульні інвертори підвищують ефективність, оскільки кожен інвертор відповідає за потужність свого модуля. Стрічкові інвертори є компромісом між центральними та модульними, забезпечуючи більшу стабільність і менші втрати енергії при передачі. Мультістрічкові інвертори поєднують переваги стрічкових і центральних інверторів. Вибір оптимальної топології інвертора залежить від специфіки структури PV системи, її вартості та можливості подальшого розширення чи модернізації[3].

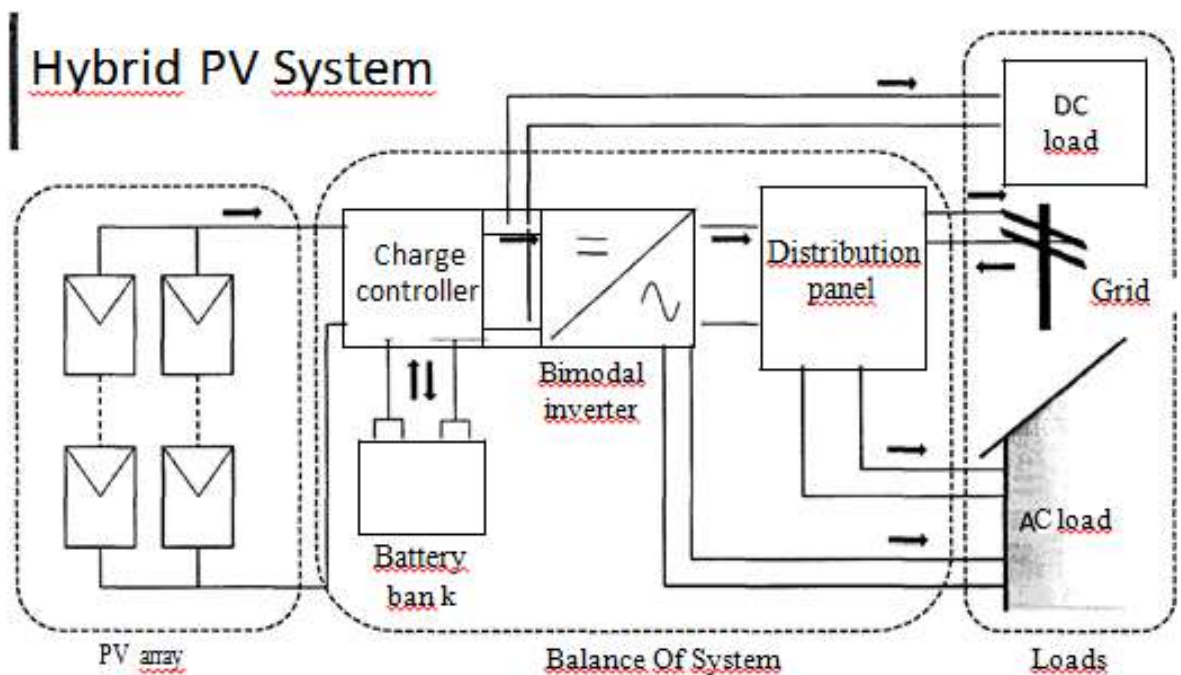


Рисунок 2.3 – Змішана PV системи

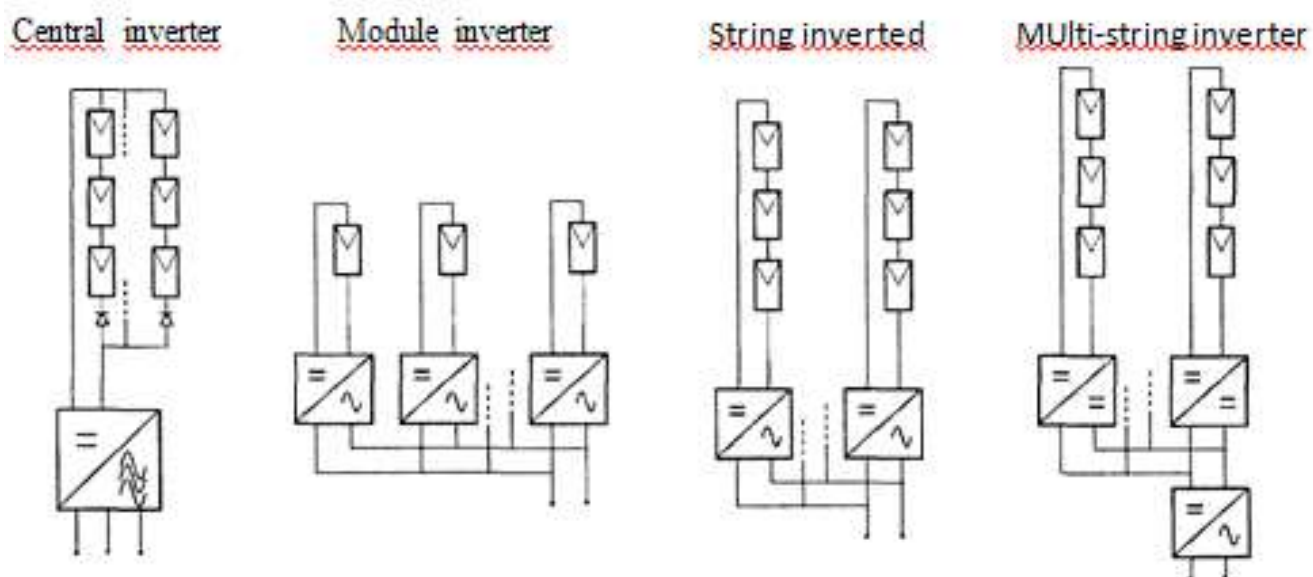


Рисунок 2.4 – Класифікація інверторів за топологією

Центральні інвертори (рис. 2.4, зліва) є найпростішою та найбільш популярною топологією. Вони використовують один інвертор для всього PV комплексу. Проте, їхня простота має кілька недоліків. По-перше, така система призначена лише для певної потужності і має обмежені можливості для розширення через додавання нових сонячних модулів. По-друге, центральний інвертор виконує MPP трекінг для всієї системи, що може знижувати її ефективність через різницю у характеристиках окремих сонячних модулів, зумовлених технологією їх виробництва. Також в великих системах може виникати зниження потужності через часткове затінення модулів. Крім того, втрата енергії при передачі через довгі кабелі в великих системах також є мінусом[3].

Модульні інвертори (рис. 2.4, другий зліва) передбачають використання окремого інвертора з MPP трекером для кожного сонячного модуля, що сприяє максимізації ефективності генерації енергії кожним модулем і захищає систему від негативного впливу затінення окремих частин. Крім того, завдяки використанню

коротших кабелів для передачі енергії зменшуються втрати. Така топологія забезпечує більшу гнучкість для модернізації та розширення системи, але водночас наявність кількох інверторів збільшує загальні витрати і, відповідно, час окупності системи. Стрічкові інвертори (рис. 2.4, другий справа) є компромісом між центральними і модульними інверторами. Вони більш стійкі до різноманітності характеристик сонячних модулів, оскільки кожна стрічка модулів має свій власний MPP трекер, що покращує ефективність. Ці інвертори мають менші розміри порівняно з центральними, але реалізація цієї топології складніша за модульні інвертори[5].

Мультистрічкові інвертори (рис. 2.4, справа) використовують один центральний інвертор і кілька стрічкових модулів, які складаються з сонячних модулів і DC-DC перетворювачів з MPP трекером. Потік постійного струму від кожного перетворювача передається до центрального інвертора. Така топологія поєднує переваги стрічкових інверторів у регулюванні потужності кожної стрічки і дозволяє знизити вартість центрального інвертора.

Після аналізу різних типів інверторів користувач повинен вибрати найбільш відповідний варіант залежно від структури, вартості та потреби в подальшій модернізації або розширенні PV системи.

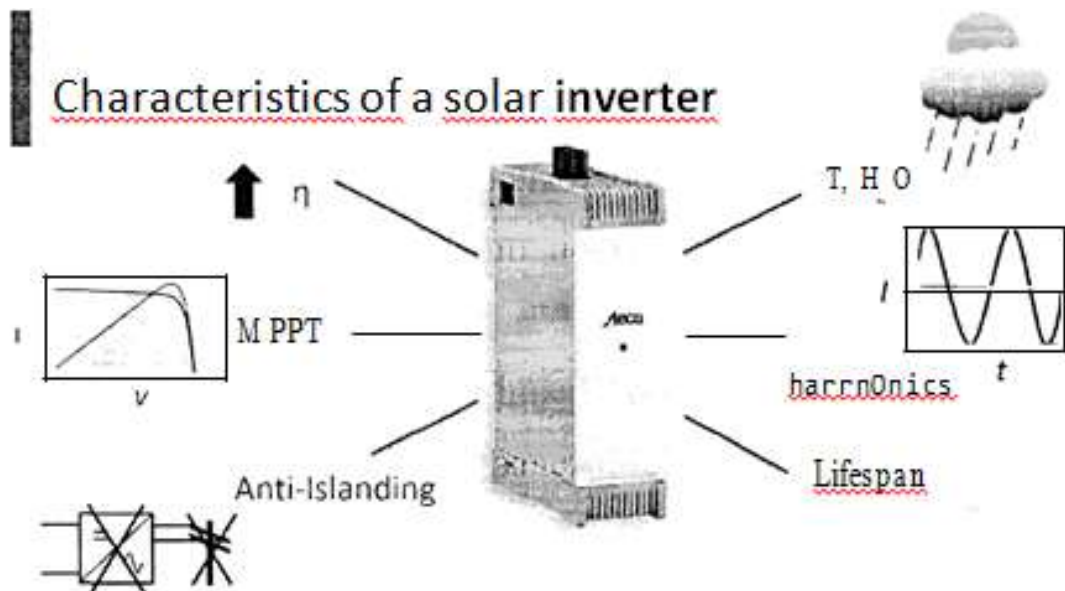


Рисунок 2.5 — Вимоги до інверторів PV систем

Інвертор має відповідати таким критеріям:

1. гарантувати максимальну ефективність перетворення генерованої енергії (найкращі моделі на сьогодні досягають ефективності 95% і більше);
2. бути оснащеним ефективним MPP трекером (залежно від топології системи);
3. мати можливість виявлення режиму ізоляції (“islanding”), що означає ситуацію, коли інвертори в мережевій PV системі продовжують постачати енергію, навіть якщо енергокомпанія-оператор забороняє подачу електрики з мережі (цей режим повинен бути заборонений з міркувань безпеки);
4. також інвертор повинен підтримувати режим анти-ізоляції (“anti-islanding”), який забезпечує вимикання подачі енергії в мережу при отриманні сигналу заборони від мережевого оператора.

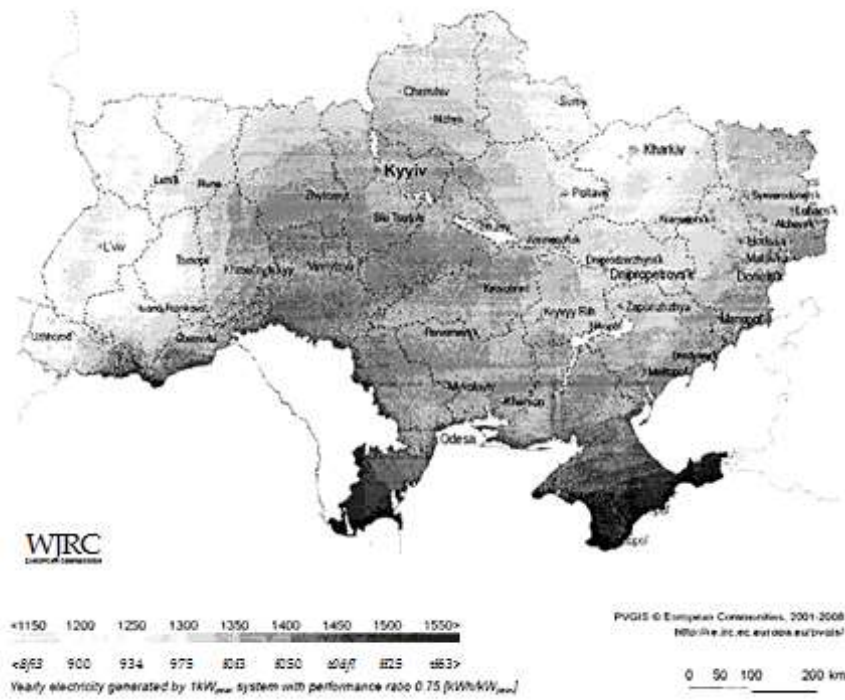


Рисунок 2.6 – Сила сонячного випромінювання в Україні за оцінками Європейської ради



Рис. 2.7 – розпис параметрів СМ відповідно до регіону та технології СМ

PV система передбачає встановлення блоків для збереження (акумуляції) електричної енергії. Ці блоки забезпечують споживачів електроенергією в періоди відсутності або недостатнього сонячного освітлення (вночі, ввечері або в хмарні дні). Слід зазначити, що робота PV системи супроводжується періодичними перебоями у виробництві енергії як протягом дня (через зміни положення сонця), так і протягом року (через сезонні коливання інтенсивності сонячного світла). Вибір акумуляторних блоків залежить від масштабу та потужності PV системи. Для виробництва батарей використовуються різні технології, порівняльні характеристики яких проілюстровано на графіку Радоне (рис. 2.8) [3].

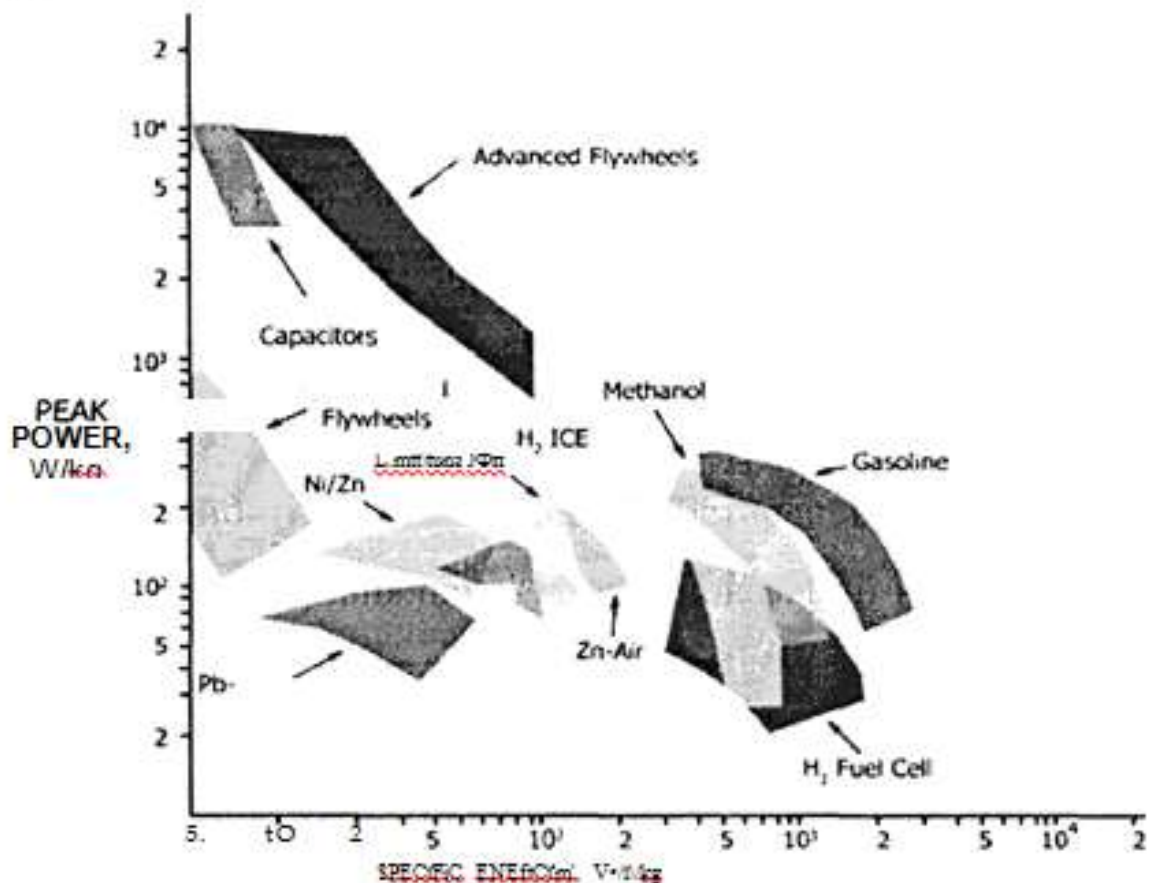


Рисунок 2.8 - Порівняльний графік Радоне для різних технологій батарей

На діаграмі по осі абсцис відображена питома енергія акумулятора, що вказує, скільки енергії акумулятор може зберігати на одиницю маси в ват-годинах. По осі ординат — питома пікова потужність, що характеризує максимальну потужність, яку акумулятор може віддати за одиницю часу (годину). Як видно, технологія суперконденсаторів має потенціал, оскільки вона може забезпечити велику потужність, але тільки на короткий час через низьку питому енергію. Паливні елементи на основі водню мають високу питому енергію, що дозволяє зберігати великі обсяги енергії, але вони не можуть швидко віддавати енергію, оскільки їх питома потужність невелика[3].

Для короткострокового та середньострокового зберігання енергії традиційно використовуються акумулятори. Акумулятори — це електрохімічні пристрої, які перетворюють хімічну енергію в електричну. Вони поділяються на одноразові та багаторазові. Одноразові акумулятори можна використовувати тільки один раз для віддачі енергії, тоді як багаторазові акумулятори можна перезаряджати. Прикладами одноразових акумуляторів є Zn-C і лужні акумулятори, а до багаторазових відносяться свинцево-кислотні (одні з найстаріших) та літій-іонні акумулятори, які широко застосовуються в сучасних мобільних пристроях, таких як ноутбуки[3].



Рисунок 2.9 - Типи батарей

Для PV систем важливо використовувати батареї або інші блоки зберігання енергії, які мають високу пікову потужність, оскільки споживач може вимагати великі значення потужності (наприклад, 10 кВт для домашнього господарства), а також велику питому енергію, щоб забезпечити енергопостачання при недостатній генерації протягом тривалого часу. Очевидно, для таких систем підходять тільки перезаряджувані батареї[3].

Однією з поширених технологій є акумулятори NiMH (нікель-метал-гідридні), які раніше використовувалися в мобільних телефонах. Вони мають подібну питому потужність і енергію до літій-іонних акумуляторів, однак їх основним недоліком є швидке саморозряджування. NiCd (нікель-кадмієві) батареї мали меншу питому енергію та страждали від "ефекту пам'яті". Це означало, що вони втрачали ємність при частковому розряді і повторному заряджанні, що вимагало повних циклів зарядки-розрядки і було неефективно для користувачів. Через шкоду навколишньому середовищу, яку спричиняє кадмій, кадмієві батареї заборонені в ЄС.

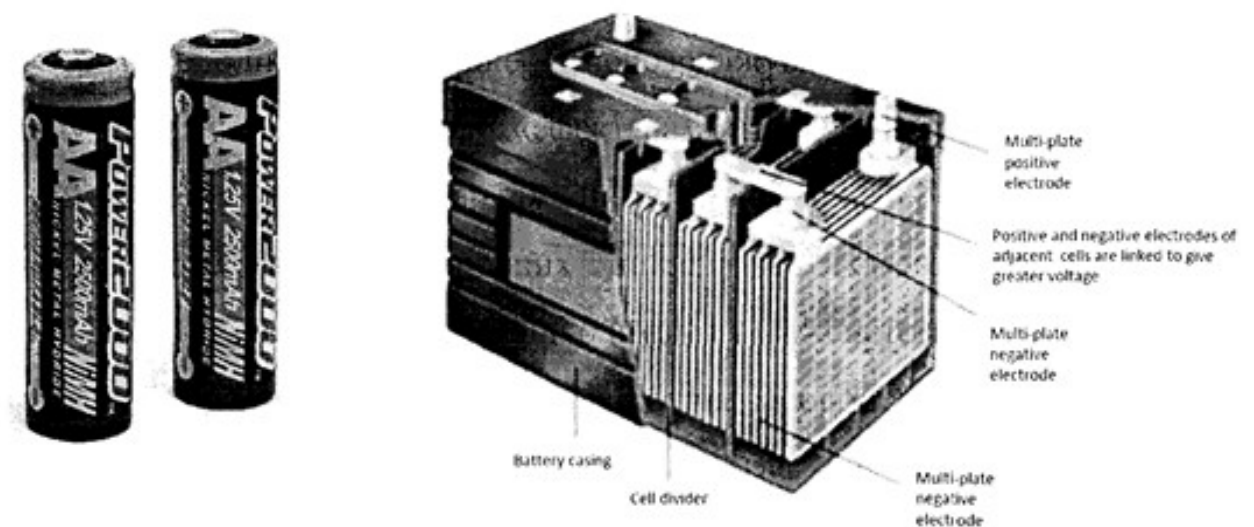


Рис. 2.10— Технологія нікель-метал гідридних та NiCd батарей

Оптимальний варіант для PV систем — використання літій-іонних полімерних акумуляторів, оскільки вони характеризуються високою питомою потужністю та великою питомою енергією (див. рис. 2.8). Важливо зазначити, що літій-іонні акумулятори є первинними (не перезаряджуваними), тоді як літій-іонні полімерні акумулятори є вторинними, тобто вони можуть перезаряджатися (див. рис. 2.11).

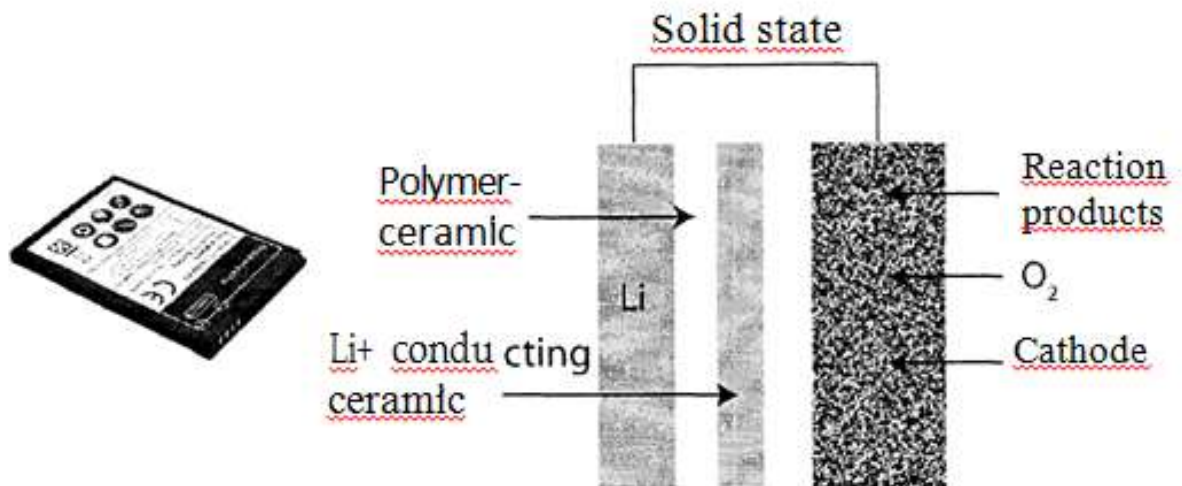


Рисунок 2.11 — Технологія літій-іонних полімерних батарей

Розглянемо технологію окислювально-відновлювального потоку, що з'єднує переваги паливних елементів і акумуляторів. У цій технології різні реагенти обмінюються зарядами через мембрану, при цьому їх фізичне змішування не відбувається. Хімічна енергія зберігається в двох електролітах, які можуть обслуговуватися окремо. Ця технологія може забезпечити дуже тривалий термін експлуатації[4].

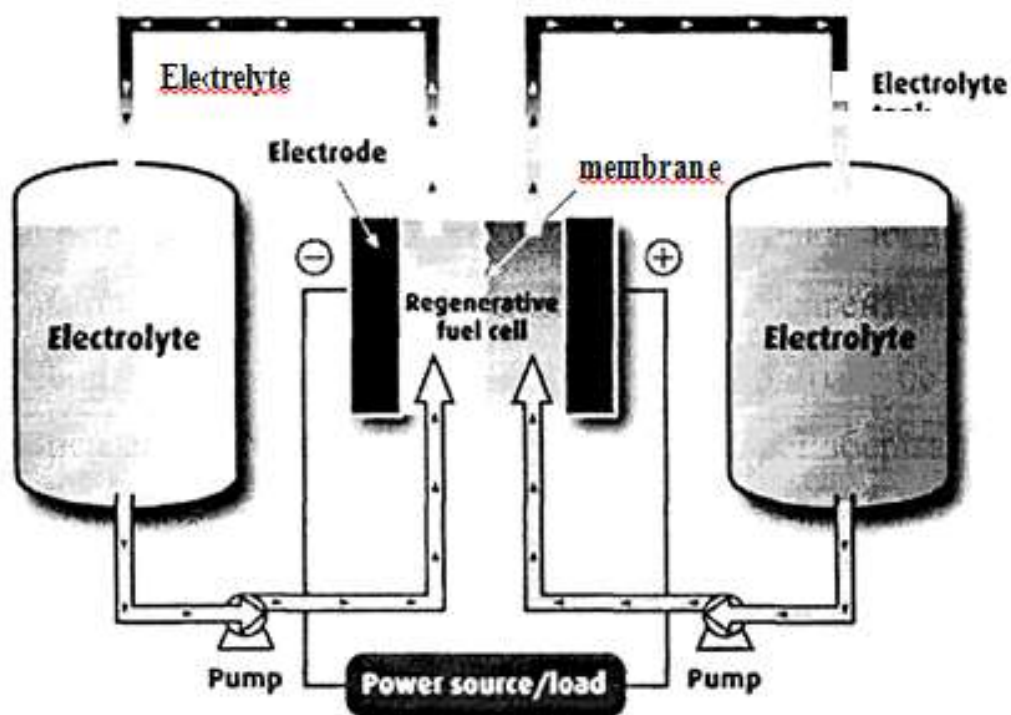


Рисунок 2.12 - Технологія окислювально-відновлювального потоку

Діаграма Радоне, демонструє популярні технології акумуляторних елементів (див. рис. 2.13), де на осі абсцис відображена енергія батареї на одиницю маси (гравіметрична енергія), а на осі ординат — енергія на одиницю об'єму (волюметрична енергія). Більша гравіметрична енергія свідчить про легші акумулятори, що є важливим для портативних пристроїв, тоді як більша волюметрична енергія забезпечує компактність, що критично для мобільних застосувань. Як показує діаграма, літій-іонні акумулятори мають оптимальне поєднання енергії на одиницю маси та об'єму. Однак новіші технології, як-от літій-іонні полімерні елементи та окисно-відновлювальні акумулятори, є дорогими. З цієї причини свинцево-кислотні акумулятори все ще використовуються через їхню низьку вартість, хоча вони мають меншу питому енергію і обмежений термін експлуатації.

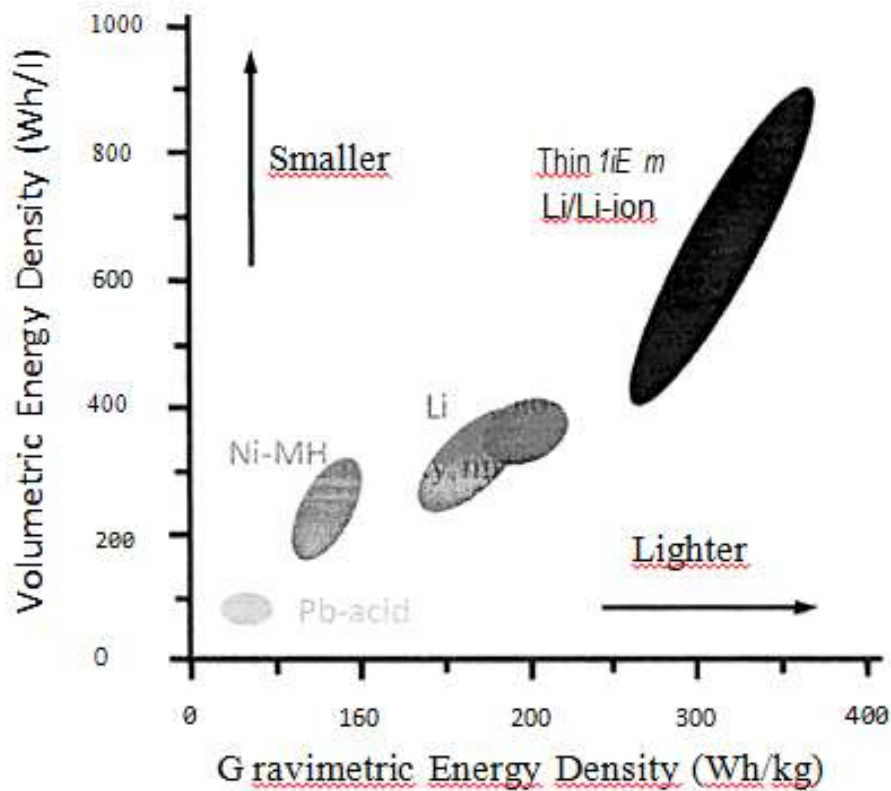


Рисунок 2.13 - Діаграма Радоне для популярних технологій акумуляторних елементів

На рис. 2.14 показана конструкція свинцево - кислотних батарей

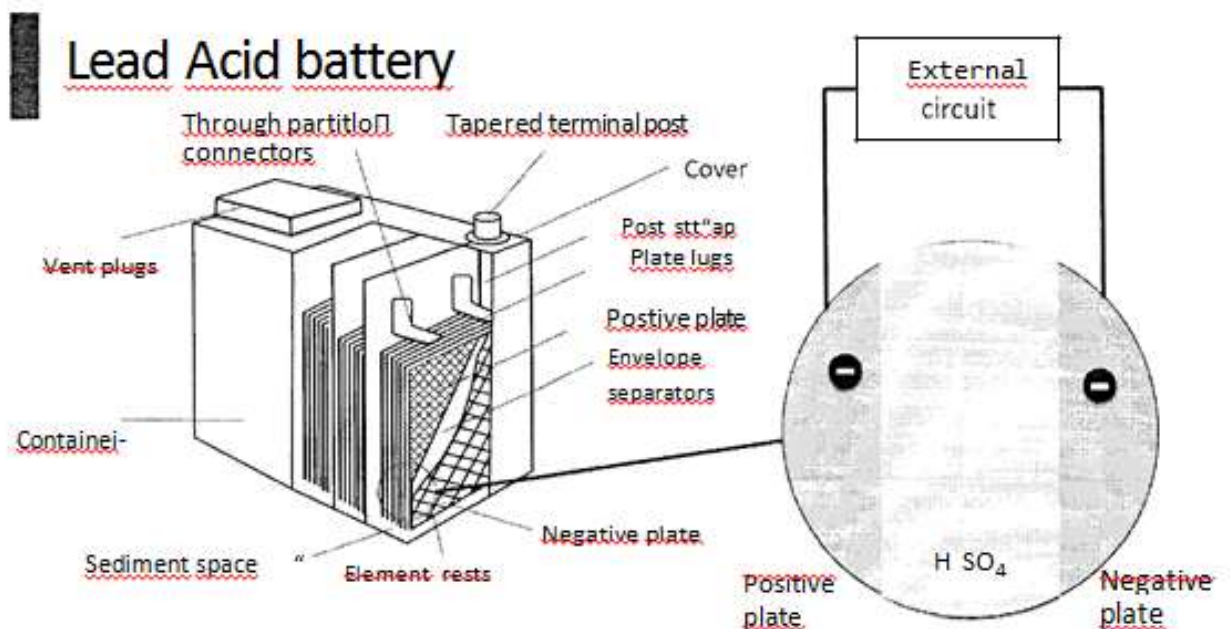


Рисунок 2.14 — Технологія свинцево - кислотних батарей

Як і більшість батарей, цей пристрій складається з осередків, кожен з яких має номінальну напругу близько 2 В, які з'єднуються послідовно для отримання потрібної напруги, наприклад, 12 В (6 осередків). Для електроліту використовується розчин сірчаної кислоти (H_2SO_4). Два електроди з різними полярностями занурені в цей розчин. Пластини виконані зі свинцевої сітки, на яку нанесено пористий активний матеріал. Завдяки своїй пористій структурі цей матеріал має велику поверхню для електрохімічних процесів. Основною речовиною є свинець, і під час розряду електрони рухаються від негативного електрода до позитивного, що викликає електрохімічну реакцію між електродами та електролітом. Цей процес "виснажує" електроліт і розряджає батарею. Під час заряджання електрони рухаються у зворотному напрямку, для чого потрібна зовнішня схема з більшою напругою, що ініціює зворотну електрохімічну реакцію. В системах сонячних батарей цією зовнішньою схемою є сонячний модуль. Важливо відзначити, що процеси перезарядки можуть пошкодити електроди, що призводить до зменшення терміну служби акумулятора. У автономних системах сонячної енергетики застосування акумуляторів є необхідним, оскільки процеси генерації і споживання електричної енергії не збігаються навіть вдень[5].

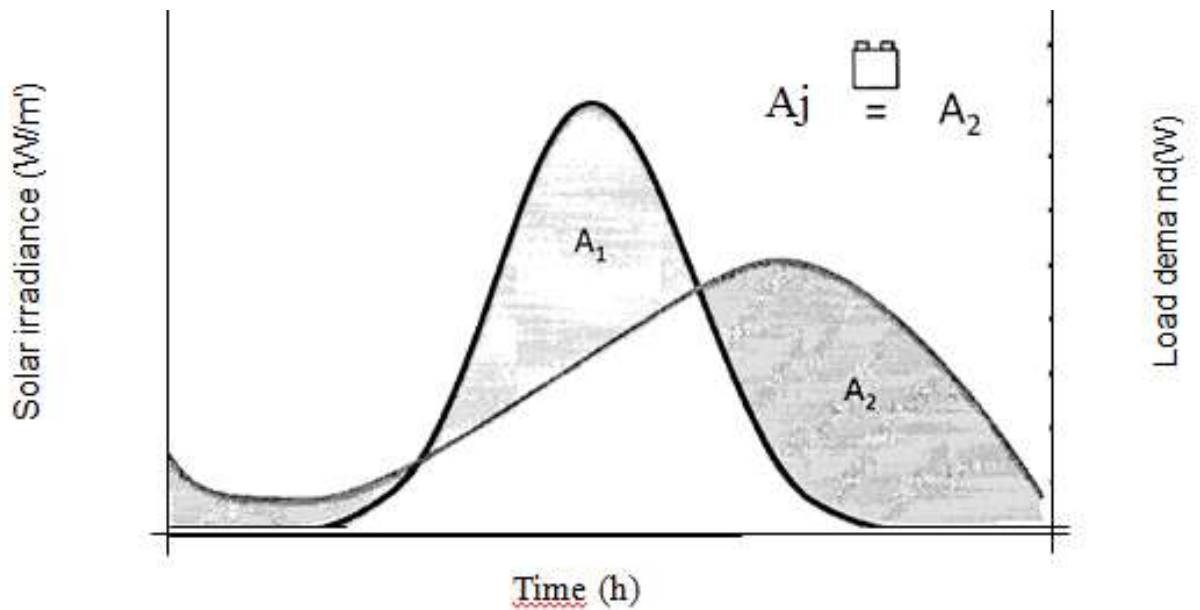


Рисунок 2.15 - Співвідношення генерації та споживання електроенергії протягом типового дня

Найбільше енергії виробляється в полудень, тоді як максимальне споживання відбувається ввечері. Саме акумулятори дозволяють ефективно зберігати і перерозподіляти цю енергію, забезпечуючи споживача електроенергією протягом доби.

2.4. Оцінка параметрів батарей автономних та гібридних PV систем

Під час вибору акумуляторів для зберігання генерованої електроенергії важливо врахувати кілька ключових параметрів, таких як напруга, ємність, струм розрядки та зарядки. Напругу батарей можна встановити за допомогою послідовного з'єднання їх контактів. Для свинцево-кислотних батарей стандартні напруги становлять 12В, 24В або 48В. Ємність батарей залежить від кількості активного матеріалу в електродах: чим менша комірка і електроди, тим менша ємність батареї. Напруга батарей з різною

ємністю може бути однаковою, залежно від хімічної технології. Ємність вимірюється в ампер-годинах (А·год), що визначає, скільки часу батарея може видавати певний струм. Наприклад, батарея з ємністю 10 А·год може видавати 1А протягом 10 годин[6].

Швидкість розряду батареї (C-rate) визначає, як швидко вона може віддавати енергію. Для батареї з ємністю 10А·год і швидкістю розряду 1С це означає, що батарея може віддати 10А протягом 1 години. Якщо швидкість розряду 2С, то сила струму збільшиться до 20А, і батарея розрядиться за 30 хвилин. Також важливим є параметр ефективності збереження енергії, який розраховується як відношення енергії, яку можна отримати з батареї, до енергії, яку в неї заряджено. Наприклад, якщо батарея була заряджена на 10 кВт·год, а віддає лише 9 кВт·год, ефективність зберігання буде 90%.

Інші важливі показники батареї включають стан заряду (SOC) і стан розряду (DOD), які відображають відсоток ємності, яку батарея заряджена або розряджена. SOC визначається як відношення заряду до повної ємності, а DOD — як відношення витраченого заряду до загальної ємності. Крім того, тривалість життя батареї, яка визначається кількістю циклів зарядки та розрядки до зниження її ємності на 20%, також є важливим фактором. Зазначено, що частий розряд батареї і висока температура знижують її тривалість служби.

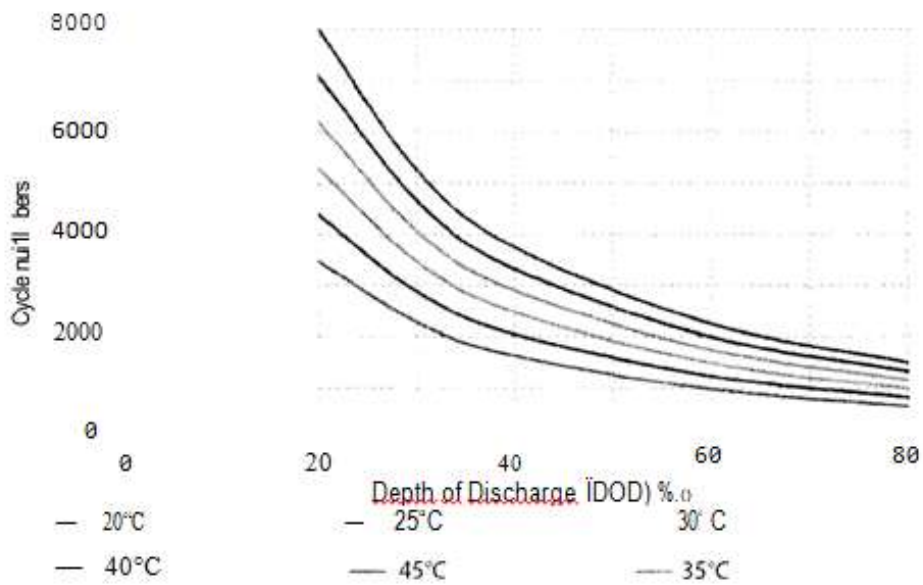


Рисунок 2.16 - Взаємозв'язок тривалості життя циклів батареї від глибини її розряду і температури

Основними причинами старіння та виходу з ладу свинцево-кислотних акумуляторів є кілька факторів, які впливають на їх термін служби. До них належать:

1. сульфітація;
2. корозія електродів;
3. висушування.

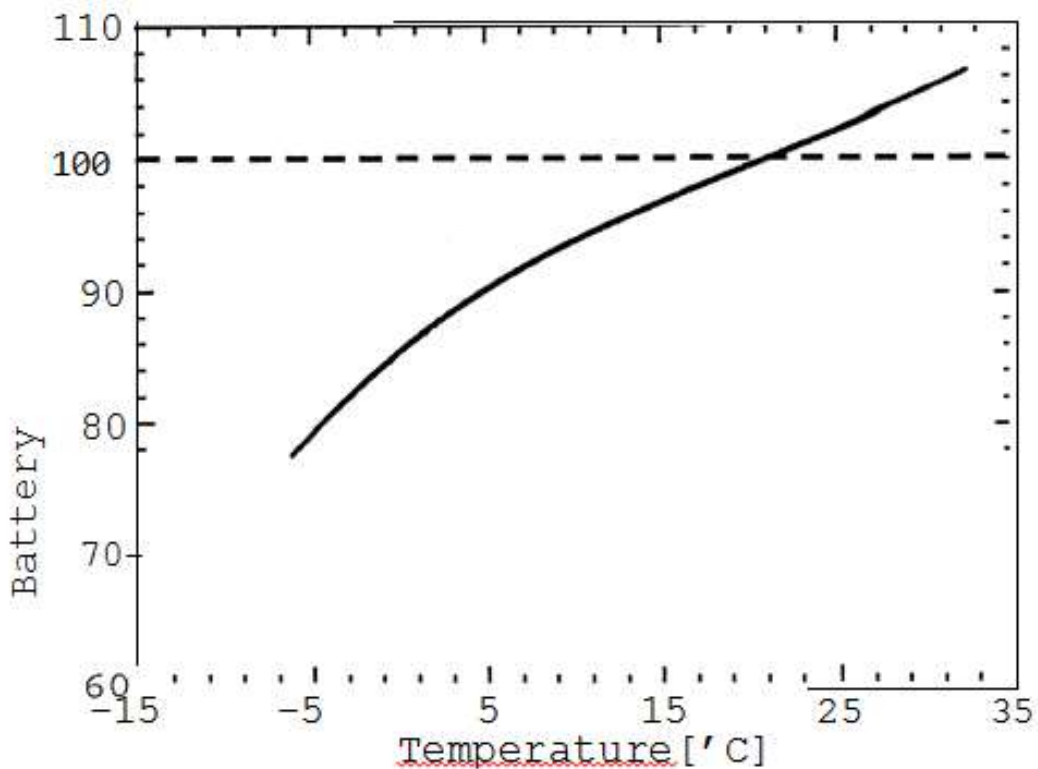


Рисунок 2.17 - Взаємозв'язок ємності батареї і температури

Під час заряджання та розряджання свинцево-кислотних акумуляторів відбувається хімічна реакція наступного вигляду:

$$\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2 \text{PbSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}.$$

Коли батарея розряджається, реакція проходить зліва направо, а при заряджанні — справа наліво. Під час розряду на пластинах утворюється сульфат свинцю (PbSO_4), що дозволяє електроліту вільно проникати до пластин при заряджанні. Проте іноді виникає перекристалізація, при якій замість дрібних кристалів утворюються великі важкорозчинні кристали, що ускладнює доступ електроліту та заважає зворотній хімічній реакції при зарядці[7].. Це явище називається сульфитацією і є основною причиною старіння акумуляторів та зниження їхньої ємності. Корозія електродів призводить до збільшення опору сітки пластини електрода, оскільки підвищується її позитивний

потенціал. Це збільшення опору зменшує струм, що протікає через батарею, що знижує її ефективність[4].

Висушування батареї відбувається через втрату води, яка перетворюється в пару, особливо при високих напругах під час зарядки. Цю проблему можна вирішити, своєчасно додаючи дистильовану воду до акумулятора. Якщо ж батарея повністю висохне, вона вийде з ладу.

3.АНАЛІЗ РОБОТИ КОНТРОЛЕРІВ ЗАРЯДУ БАТАРЕЙ PV СИСТЕМ

3.1 Аналіз функцій контролерів заряду батарей PV систем

Як було зазначено раніше, порушення оптимальних параметрів акумуляторних батарей, таких як струм, напруга або температура, призводить до скорочення їхнього терміну служби та зниження ефективності. Оскільки генерація постійного струму з сонячних панелей є динамічною, пряме підключення сонячних модулів до батарей може призвести до неправильного їх використання. Коливання генерованого струму залежить від змін інтенсивності світла, температури та налаштувань трекера максимальної потужності. Для забезпечення правильного процесу заряду/розряду батарей, що відповідає заводським параметрам, використовуються контролери заряду, як показано на рисунку 3.1[7].

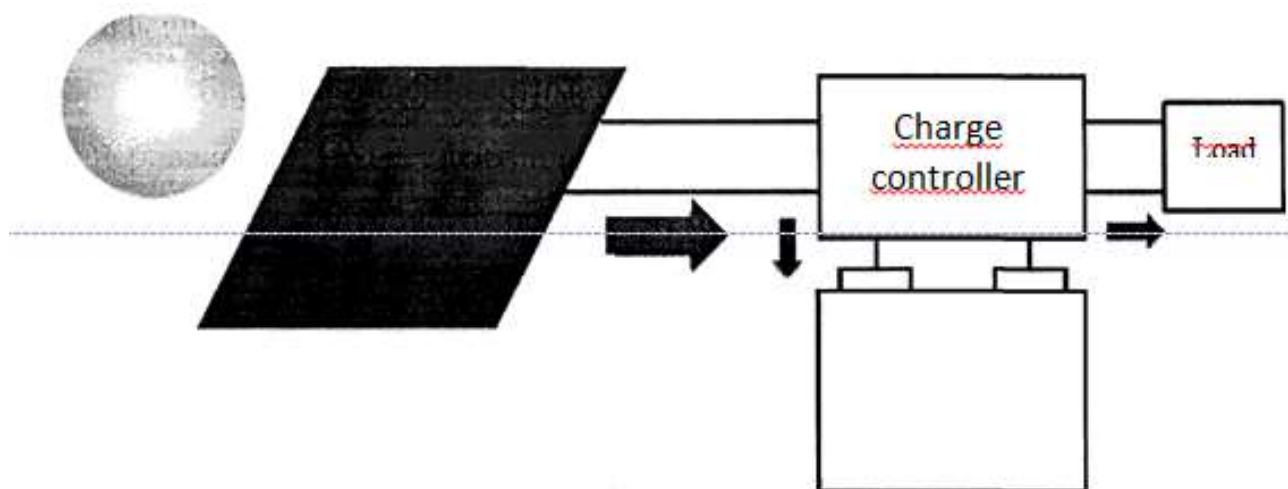


Рисунок 3.1 — Структура PV системи з контролером заряду батарей

Контролери заряду (КЗ) виконують кілька ключових завдань. Розглянемо деякі з них. Наприклад, влітку, коли сонячна система виробляє більше електроенергії, ніж потрібно для живлення споживача, надлишкова енергія спрямовується КЗ на зарядку акумуляторів. Проте, якщо батарея вже досягла повного заряду, це може призвести до перезарядки, перегріву, висихання та поломки. У такому разі КЗ автоматично вимикає подачу струму до батареї.

Взимку, коли інтенсивність світла зменшується і генерація електроенергії стає недостатньою, енергія поступає з батареї до споживача. КЗ контролює рівень розрядки батареї, щоб уникнути її надмірної розрядки, що могло б скоротити термін служби батареї. Якщо батарея занадто розряджена, КЗ відключає її від навантаження.

Для забезпечення правильного функціонування батарея повинна заряджатися при стабільній напрузі. Однак напруга сонячних панелей змінюється в залежності від налаштувань МРР трекера для досягнення максимальної ефективності. Тому функцією КЗ є перетворення оптимальної напруги сонячних панелей на необхідну напругу для батареї, тому часто МРР трекер вбудовують безпосередньо в контролер заряду[3].

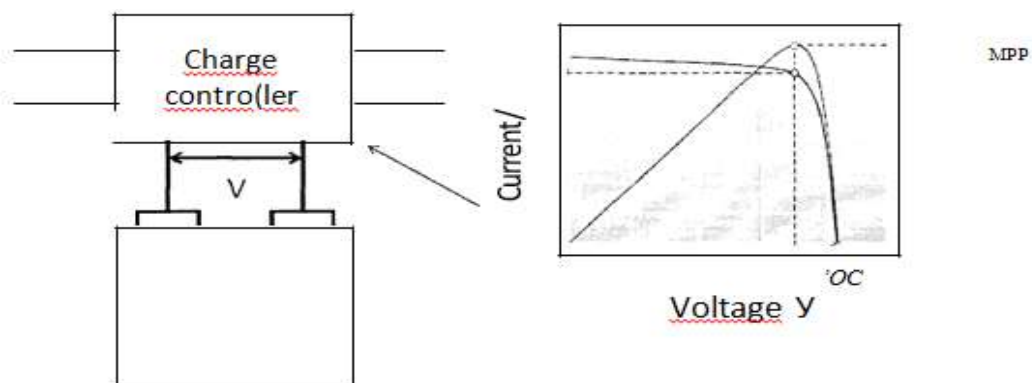


Рисунок 3.2— Перетворення контролером заряду батарей

Однією з функцій контролера заряду (КЗ) є контроль за швидкістю зарядки та розрядки батареї (С-швидкість), оскільки перевищення швидкості зарядки або розрядки може знижувати ефективність батареї. З цією метою КЗ часто обмежують максимальний струм зарядки та розрядки.

Якщо сонячна система (СМ) не має діодів, які запобігають зворотному потоку струму, і при низькому рівні інтенсивності світла СМ може генерувати дуже низьку напругу. У такому випадку СМ стане навантаженням для батареї, розряджаючи її. Цей процес називають «зворотнім розрядом» («back discharging»). Сьогодні функцію блокуючих діодів виконує КЗ, тому додаткові діоди зазвичай не потрібні.

Існує два основних типи контролерів заряду (КЗ):

- послідовні;
- шунтуючі.

Послідовні КЗ працюють за принципом відключення СМ від батареї, поки не буде зафіксоване зниження напруги, що свідчитиме про розряд батареї. Водночас шунтуючі КЗ закорочують (шунтують) СМ від батареї, тобто електричний струм не надходить на батарею. Обидва методи допомагають уникнути надмірної зарядки батареї, а також запобігають її надмірному розряду, відключаючи батарею від навантаження[8].

Сучасні контролери заряду оснащені вбудованими датчиками температури, що дозволяє налаштовувати оптимальні значення напруги та струму з урахуванням температури. Тому важливо, щоб контролер заряду і батарея перебували в одному місці та мали однакові температурні умови. Інакше алгоритми контролера можуть неправильно налаштувати параметри заряду та розряду батареї.

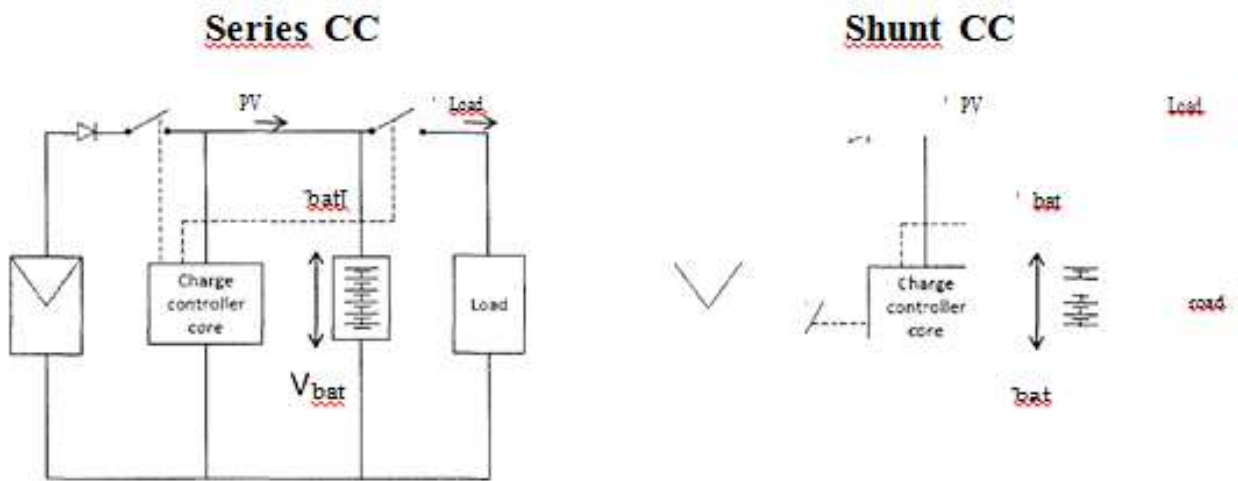


Рисунок 3.3 — Типи контролерів заряду батарей

Сучасні контролери заряду оснащені вбудованими датчиками температури, що дозволяє налаштовувати оптимальні значення напруги та струму з урахуванням температури. Тому важливо, щоб контролер заряду і батарея перебували в одному місці та мали однакові температурні умови. Інакше алгоритми контролера можуть неправильно налаштувати параметри заряду та розряду батареї.

3.2. Вибір і розрахунок компонентів автономної PV системи

Проектування автономної PV системи включає кілька етапів. Для простоти, в даному випадку розрахунок проводиться без врахування коливань інтенсивності світла влітку та взимку, припускаючи її сталий рівень протягом року. Основні компоненти автономної PV системи: масив сонячних панелей (PV), які генерують постійний струм. Ця енергія передається контролеру заряду, який, залежно від рівня заряду батарей, перерозподіляє енергію для їх зарядки або контролює їх розряд при недостатньому освітленні. Контролер також містить MPP трекер для забезпечення максимальної ефективності генерації. Частина енергії

передається до інвертора, який перетворює постійний струм в змінний для використання споживачем згідно з місцевими стандартами (110V або 220V). Інша частина енергії, що не потрапляє до інвертора, використовується для живлення пристроїв, які працюють на постійному струмі, що дозволяє заощадити 10% потужності[9].

При потужності – 6 кВт і коефіцієнті потужності $\cos\varphi = 0,95$,
напрузі мережі – 230 В:

Визначаємо силу струму:

$$I = \frac{P}{U \cos\varphi} = \frac{6 \cdot 10^3}{230 \cdot 0.95} \approx 25 \text{ A}$$

З урахуванням потреби отримати напругу 230 В - послідовно з'єднуємо 10 фотоелементів, оскільки кожний елемент має вихідну напругу 24 В. Тоді $U = 240$ В. Нехай перетворювачі зменшує напругу на– 10 В. Тоді для отримання змінного струму $I = 25$ А, необхідно з'єднати паралельно 5 комплектів з 10 модулів, тому, що розраховуємо струм одного комплекту з 10 модулів становить біля 4,9 А.

$$I = 5 \cdot I_1 = 5 \cdot 4,9 = 24,5 \text{ A}$$

Далі проводимо розрахунок цієї системи. Для цього використовуємо флоучарт, представлений на рисунку. Спершу потрібно оцінити енергоспоживання споживачем. У нашому прикладі, в домі є 4 економні лампи по 25 Вт, які працюють по 3 години на день. Загальна енергія для цих ламп становить:

$$25 \text{ Вт} \times 4 \text{ шт.} \times 3 \text{ год} = 300 \text{ Вт-год.}$$

Також є телевізор (100 Вт, 2 години на день) і ПК (100 Вт, 1 година на день). Загалом на день споживається 300 Вт-год змінного струму та 300 Вт-год постійного струму[9].

Наступним етапом є визначення кількості днів автономної роботи системи у разі відсутності сонця, наприклад, під час хмарних днів чи

дощу. Припустимо, що система повинна бути автономною мінімум 2 дні (Days of autonomy).

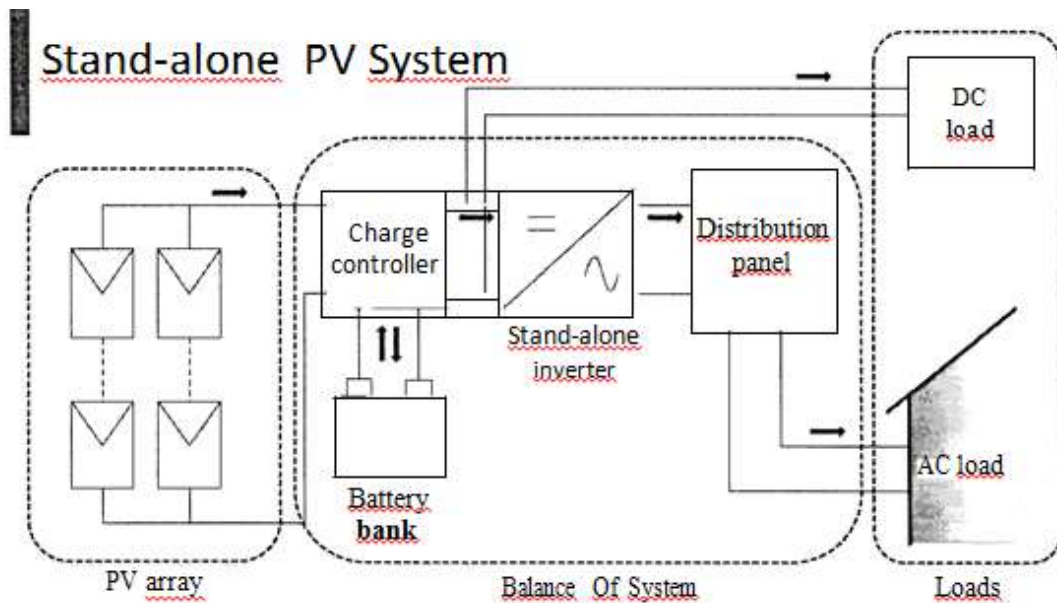


Рисунок 3.4 - Структура автономної PV системи

Після цього потрібно оцінити енерговитрати PV системи через опір кабелів, не 100% ефективність перетворення енергії контролером заряду та наборами батарей. Традиційно для якісних таких блоків втрати становлять приблизно 15%, але в деяких випадках потрібно їх точніше значення, особливо враховуючи деградацію параметрів батарей з часом.

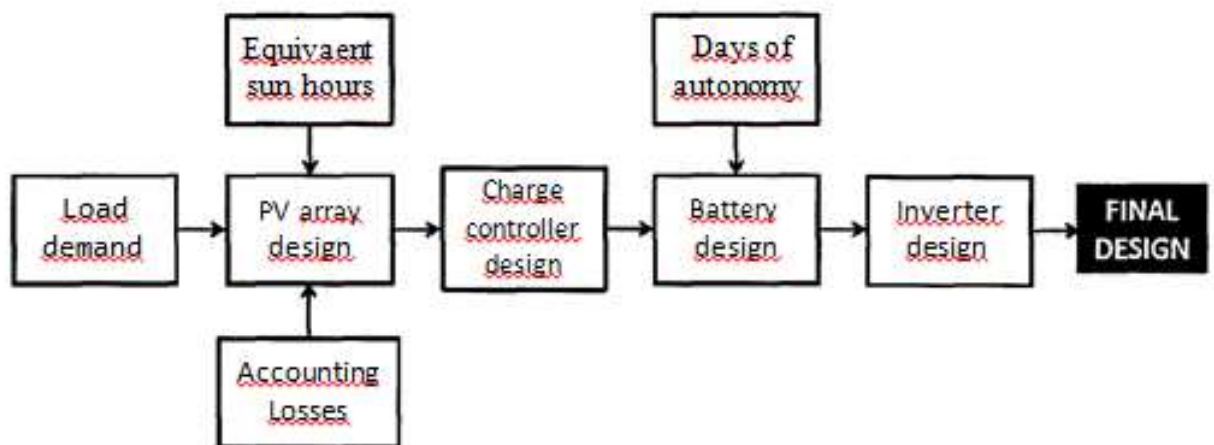


Рисунок 3.5 - Флоучар для розрахунку автономної PV системи

Ефективність перетворення генерованої енергії $100\%-15\%=85\%$. Тому з урахуванням 10% втрат перетворення ефективність рівна 90%

На основі цих даних потужність генерації при ефективності інвертора 90% буде :

$$300 \text{ Вт/год}/0,9=0,333\text{Вт*год}$$

Виберемо сонячні панелі CNCC100W та розрахуємо їх кількість, необхідну для забезпечення потрібної потужності. Специфікацію та зовнішній вигляд кристалічної сонячної панелі CNCC100W можна побачити на рис. 4.6 та 4.7. Розрахунок буде виконано для оптимістичного варіанту (5,2 год сонячних годин на день). Для забезпечення 143 Вт потужності нам знадобиться дві батареї по 100 Вт ($143\text{Вт}/100\text{Вт} = 1,43$, округляємо до 2) [11]..

Сонячні панелі можна підключити як послідовно, так і паралельно. При послідовному з'єднанні їх напруга зростає, а струм залишається незмінним. Наприклад, якщо напруга кожної панелі 22,3 В (згідно зі специфікацією на рис. 4.6), то при підключенні двох панелей послідовно напруга складе 44,6 В ($22,3 \text{ В} + 22,3 \text{ В}$), а струм залишиться таким самим. При паралельному з'єднанні струм збільшується, а напруга залишається незмінною. У такому випадку сумарний струм складе 11,9 А ($5,95 \text{ А} + 5,95 \text{ А}$), а напруга залишиться такою ж.

Для вибору контролера заряду обираємо модель Теса Solarix MPPT 1010, чия специфікація наведена на рисунку 4.8. Максимальний струм, який підтримує цей контролер, становить 9 А, тому підключення панелей паралельно буде недоцільним (оскільки сумарний струм при паралельному з'єднанні складе 11,9 А, що перевищує допустимий струм контролера). Однак максимальна напруга, яку контролер може витримати, становить 75 В, що дозволяє підключати панелі послідовно, оскільки напруга 44,6 В менша за 75 В. Операційна напруга буде визначена на основі напруги батарей та навантаження в системі. Оскільки у нас є освітлення на 24 В, це дозволяє отримати більшу максимальну

потужність (до 250 Вт), що є достатнім для двох сонячних панелей загальною потужністю 200 Вт. Отже, обираємо 24 В як операційну напругу[10].

Тепер потрібно вибрати акумуляторні батареї. Для цього обираємо свинцево-кислотні акумулятори HOPPECKE OPZV BLOC SOLAR.POWER, специфікація яких показана на рисунку 3.9.

Characterisation of the operating performance	
System voltage*	12 V (24 V)
nominal power	125 W (250 W) 250 W (500 W)
Max. DC-DC efficiency	38.3 % (U _{in} = 2 V; U _o = 30 V; P = 0.6 P _o)
European efficiency	94.7 % (U _{in} = 12 V; U _o = 30 V) 96.7 % (U _{in} = 24 V; U _o = 30 V)
European efficiency (weighted according to U _{in} and U _o)	95.2 %
Static MPPT efficiency	99.9 % (DIN EN 61853)
Dynamic MPPT efficiency	97.7 % (DIN EN 61853)
1/Weighted REW (realistic Equally Weighted Efficiency)	92.8 %
Own consumption	10 mA
DC input side	
MPP voltage	15 V (30 V) U _{in} 15 V (30 V) U _{in} - 75 V 100 V
Open circuit voltage solar module at minimum operating temperature	17 V...75 V 17 V...100 V (34V... 100V...)
Module current	9 A 19 A
DC output side	
Load current†	10 A
Reconnection voltage (LVR)†	12.5 V (25 V)
Deep discharge protection (LVD)*	11.5 V (23 V)
Battery side	
Charge current	10 A 20 A
End of charge voltage†	13.9 V (27.9 V)
Boost charge voltage†	14.4 V (17.0 < 1)
Equalisation charge†	14.7 V (29.4 V)
Sealed battery type†	liquid
Operating conditions	
Ambient temperature	-25 °C ... +40 °C
Fitting and construction	

Таблиця 3.1 - Специфікація контролера заряду Tesa Solaris MPPT 1010

Чим менший регулярний розряд акумулятора (DOD), тим більший його термін служби. Для забезпечення робочої напруги контролера заряду в 24 В акумулятори OPzV BLOC

SOLAR.POWER слід підключати послідовно. Таким чином, з'єднаємо два акумулятори по 12 В для досягнення загальної напруги 24 В. Щоб отримати необхідну ємність блоку батарей в 155,2 А·год для акумуляторів OPzV BLOC SOLAR.POWER 70 (при ємності кожного акумулятора 45 А·год за 5 годин розряду), нам потрібно поділити необхідну ємність на ємність одного акумулятора:

$$155,2 \text{ А·год} / 45 \text{ А·год} = 3,5.$$

Отже, потрібно 4 батареї, з'єднані послідовно. Для досягнення загальної напруги 24 В і ємності 155,2 А·год (приблизно 180 А·год) потрібно 8 батарей, з яких 2 комплекти паралельно з'єднані, і кожен комплект складається з 4 послідовно з'єднаних батарей.

Далі розрахуємо параметри інвертора. Сонячні панелі генерують пікову потужність 200 Вт. Враховуючи, що ефективність перетворення постійного струму в змінний має бути не менше 90%, номінальна потужність інвертора повинна бути:

$$200 \text{ Вт} / 0,9 = 222,2 \text{ Вт}.$$

Для цього вибираємо інвертор Steca Solarix PI 550-24, чия специфікація наведена на рисунку 3.8, а зовнішній вигляд показаний на рисунку 3.9. Рекомендується вибирати потужність контролера заряду і інвертора з урахуванням можливості розширення системи в майбутньому, хоча це може збільшити вартість системи. Максимальна потужність інвертора Steca Solarix PI 550-24 становить 450 Вт, що дозволяє підключити ще дві такі сонячні панелі[11].

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської роботи отримано наступні результати:

- проведено аналіз сучасних тенденцій розвитку сонячної енергетики в Європі та світі, який свідчить про щорічне зростання її потужностей;
- проаналізовано класифікацію сонячних батарей за поколіннями розвитку і матеріалами напівпровідників, а також розвиток технологій їх виготовлення, який дозволив досягти ефективності їх роботи;
- проаналізовано класифікацію сучасних структур PV систем в залежності від особливостей енергоспоживання з визначенням їх переваг і недоліків;
- показано класифікацію сучасних інверторів PV систем в залежності від будови таких систем з порівнянням переваг і недоліків різних типів інверторів;
- проаналізовано класифікацію та функції сучасних контролерів заряду наборів акумуляторних батарей;
- проведено розрахунок автономної PV системи з характеристикою основних параметрів компонентів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Колонтаєвський Ю. П. Фотоенергетика : навч. посібник / Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай, С. В. Котелевець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 160 с.
2. Global Electricity Review 2022 | Ember. URL: <https://emberclimate.org/insights/research/global-electricity-review-2022/> (Last accessed: 5.12.2022).
3. Net Zero by 2050 – Analysis - IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/netzero-by-2050> (Last accessed: 5.12.2022).
4. 3. How long before the world runs out of fossil fuels?. URL: <https://www.zmescience.com/science/news-science/how-long-fossil-fuels-last43432/> (Last accessed: 30.01.2023).
5. 4. What is a Load factor? Definition & Meaning and Calculation - Circuit GlobeTerabee. URL: <https://circuitglobe.com/load-factor.html> (Last accessed: 30.01.2023)
6. А.А. Бурмістров , В.І. Віссаріонов, Г.В. Дерюгіна , В.А. Кузнєцова, Д.Н. Кунакін, Н.К. Малінін, Р.В. Пугачов Методи розрахунку ресурсів поновлюваних джерел енергії», Навчальний посібник / / Під ред. В.І. Віссаріонова. - М.: Видавничий Дім МЕІ; 2007 р. - 144 с.
7. В.І. Віссаріонов, Г.В. Дерюгіна, С.В. Кривенкова, В.А. Кузнєцова, Н.К. Малінін Розрахунок ресурсів сонячної енергетики /. - М.: Видавництво МЕІ, 1998 - 61 с.
8. Єлістратов В.В, Кузнєцов М.В. Теоретичні основи нетрадиційної та відновлюваної енергетики. Ч. 1. Визначення вітроенергетичних

ресурсів регіону : Учб. посібник. СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2004. - 59с

9. Solar Cell: Working Principle & Construction (Diagrams Included) | Electrical4U. URL: <https://www.electrical4u.com/solar-cell/> / (Last accessed: 31.01.2023).
10. Photoelectric effect (article) | Photons | Khan Academy. URL: <https://www.khanacademy.org/science/physics/quantumphysics/photons/a/photoelectric-effect> (Last accessed: 31.01.2023).
- 11.. Global Solar Atlas. URL: <https://globalsolaratlas.info/download/world> (Last accessed: 31.01.2023).