

Власник документу:
Бевза Олег Миколайович

ID перевірки:
1004035745

Дата перевірки:
15.06.2020 02:39:48 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
15.06.2020 02:48:12 EEST

ID користувача:
90740

Назва документу: 2020-bachelor-EDD_Zbronsky_khmary_fch

ID файлу: 1004048807 Кількість сторінок: 21 Кількість слів: 8076 Кількість символів: 57135 Розмір файлу: 88.07 KB

0.76% Схожість

Найбільша схожість: 0.52% з джерело бібліотеки. ID файлу: 1004030974

0.61% Схожість з Інтернет джерелами 4 Page 23

0.73% Текстові збіги по Бібліотеці акаунту 76 Page 23

1.16% Цитат

Цитати 4 Page 24

Вилучення переліку посилань вимкнено

0% Вилучень

Вилучений текст відсутній

Підміна символів

Заміна символів 3

Олексій ЗБРОНСЬКИЙ

Моделювання віртуальної щільності хмар

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект викладений на 51 сторінках, налічує в собі .3 розділи, 28 ілюстрацій, 6 таблиць та 43 джерел у списку посилань.

Метою даної роботи було дати якісну оцінку впливу навколишнього середовища на можливу максимальну величину енергії, що потрапляє на панелі, зокрема визначення віртуальної щільності хмар, як одного з факторів зниження максимальної потужності сонячної батареї.

У першому розділі розглянуто загальні теоретичні відомості щодо принципу роботи сонячних електростанцій їх застосуванні у побуті та промисловості.

У другому розділі описані методи перетворення проєкцій об'єктів у зображення та навпаки. Надані основні формули розрахунку моделі віртуальної щільності хмари

У третьому розділі наведені безпосередньо розрахунки віртуальної щільності хмари і принципи застосування формул з другого розділу.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, СОНЯЧНІ ПАНЕЛІ, ЩІЛЬНІСТЬ, ПРОЕКЦІЯ, ХМАРА, ІНТЕНСИВНІСТЬ, ТОМОГРАФІЯ, МЕТОД ЗВОРОТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ, ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є.

ABSTRACT

The diploma project is set out on 50 pages, includes .3 sections, 25 illustrations, 6 tables and 30 sources in the list of references.

The purpose of this work was to give a qualitative assessment of the impact of the environment on the possible maximum amount of energy entering the panel, in particular to determine the virtual density of clouds, as one of the factors reducing the maximum power of the solar panel.

The first section considers general theoretical information on the principle of operation of solar power plants and their application in everyday life and industry.

The second section describes how to convert projections of objects into images and vice versa. The basic formulas for calculating the model of virtual cloud density are given

The third section presents directly the calculations of the virtual density of the cloud and the principles of application of the formulas from the second section.

Keywords: POWER PLANT, SOLAR PANELS, DENSITY, PROJECTION, CLOUDS, IRRADIANCE, TOMOGRAPHY, REVERSE CONVERSION METHOD, FOURIER TRANSFORM

ВСТУП

За останні десятиліття все більше і більше людство звертає увагу на використання альтернативних джерел енергії, зокрема сонячної. Виробництво та впровадження фотоелементів у побут стає дешевшим і більш доступним для більшої кількості населення. Тож обрана нами тема є досить актуальною, оскільки безпосередньо зв'язана з роботою сонячних електростанцій.

Завдання ж полягало у перевірці теоретичного матеріалу методом впровадження існуючих даних та моделювання реальних умов експлуатації сонячних панелей.

Також хотілось відзначити що дана робота виконується в рамках держбюджетної прикладної науково—дослідної роботи №2314 п. "Система енергозабезпечення височастотних вентиляно-індукторних двигунів дрона з багатокомірковими перетворювачами і просторово-часовою модуляцією".

РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

1.1. Світова практика використання сонячних панелей

Історія створення сонячних батарей бере свій початок ще у 19 сторіччі. Постійні дослідження у цій сфері дуже пришвидшили появу нових технологій розробки та впровадження у виробництво сонячних панелей. Першу хімічну сонячну батарею представив публіці французький вчений Александр-Едмон Беккерель в 1839 році. ККД цієї новинки складав лише 1%, тобто тільки один відсоток сонячного випромінювання трансформувався в електроенергію. Згодом, у 1873-му, інженер-електрик англійського походження виявляє чутливість селена до ультрафіолетового випромінювання, а через 4 роки після цього Адамс і Дейтон відмічають, що даний елемент генерує електричний струм під впливом сонячного світла.

Першу в світі робочу сонячну панель було сконструйовано американським винахідником Чарльзем Фрітцем у 1883 році. За основу він обрав селен покритий тонкою золотою плівкою. Вчений вважав що саме ця конструкція переверне тодішній світогляд і почне нову еру безкоштовної сонячної електроенергії. Проте цьому не судилося здійснитися оскільки коефіцієнт корисної дії залишався мізерним і складав той самий один відсоток, а виробництво з використанням золота було досить дорогим.

Вперше пристрій, який був здатен генерувати електричний струм за допомогою сонячного випромінювання офіційно був запатентований 1954 року. Це сталося через майже півстоліття часу, як Альбертом Ейнштейном було сформовано перший фізико-математичний опис фотоефекту, за який, до речі, останній був нагороджений Нобелівською премією.[1]

Кельвін Фуллер, Деріл Чапін та Геральд Пірсон – саме цим людям ми зобов'язані сучасними сонячними панелями (рис. 1.1) , бо саме вони створили перший сонячний елемент на основі кремнію з коефіцієнтом корисної дії 4%. Даний винахід слугував джерелом живлення телефонних станцій у віддалених районах невеличких містечок сільської місцевості. Пізніше людство змогло підвищити ефективність використання сонячної комірки, але всього до 15%. На сьогодні, найновіші розробки з використанням спеціальних технологій, що допомагають сфокусувати сонячне проміння і тим самим направити якомога більше енергії в одну точку, в змозі перетворити в електричний струм лише 30% від всього сонячного випромінювання.

Рис. 1.1. Сучасний вигляд комірки сонячної панелі

На сьогодні більша частина з усіх виготовлених сонячних елементів виготовляється з кремнію або Si (силіцій) – елемент чотирнадцятої групи

третього періоду в періодичній системі хімічних елементів. Дуже розповсюджений неметал. Вміст цього елемента у земній корі сягає від 27,5 до 29,5 відсотків. Таким чином він займає друге місце по розповсюдженості після кисню.

Для виготовлення сонячного елемента попередньо очищений кремній, бо повсякденному житті він частіше зустрічається у вигляді оксиду SiO_2 , засипають невеликими шматками у спеціальну піч, аби впорядкувати його внутрішню структуру. У печі мінерал плавиться за температури 1415°C . Тільки після певних операцій що допомагають сформувати правильну будову майбутнього матеріалу, через 2 доби з'являється кристал моно кремнію, який калібрують та обрізають до форми паралелепіпеда.

Наступним етапом виробництва є розрізання монокристалу на пластини. Товщина однієї становить близько 180-200 мкм. Тому кремній розрізають не пилами, а спеціальною тонкою та дуже міцною сталеву ниткою зі швидкістю 10 м/с. Проте навіть в такий спосіб процес займає пару годин. Після ретельної перевірки пластини віддають в подальше виробництво самих панелей.

Але невже це єдиний елемент, що здатен перетворювати енергію фотонів у електричний струм? За останні роки в сонячну індустрію впроваджують все нові і нові матеріали для панелей. Одним з найбільш перспективних виступає сімейство кристалів, відомих як перовскіти.[2].

Завдяки деяким з них, вченим вдалося отримати ККД у 22%. Такі перевищують коефіцієнту корисної дії перевищують середні від кремнієвих пластин та інші альтернативні сонячні матеріали. Багато перспектив покладено на впровадження нових кристалів у виробництво сонячних панелей, тим паче що перші спроби роботи з перовскітами почалися відносно недавно, близько 10 років тому.

Разом із тим існує ще купа невирішених проблем пов'язаних з впровадженням у масове виробництво вище згаданий кристал. Величезним недоліком можна вважати той факт що перовскіт може повністю розчинитися у воді, а це в свою чергу додає додаткові норми і стандарти вологостійкості майбутньої сонячної панелі. Ще один достатньо вагомий аргумент це, попри те що вчені домоглися високого коефіцієнту корисної дії лише для малих комірок з кристалів, той самий ефект поки не вдалося отримати на великих панелях.

Іншою альтернативою в матеріалах для виробництва фотопровідних елементів вважається арсенід галію (GaAs). Перші розробки беруть початок з середини 60-х років минулого сторіччя. Основними перевагами панелей на основі арсеніду галію в порівнянні з такими самими, але в основі яких лежить стандартний кремній можна вважати:

- більший початковий ККД;
- вдвічі менші втрати при збільшенні температурного режиму роботи;
- краща стійкість до радіаційного випромінювання;
- можливість роботи при температурі до 150°C .

Саме за ці позитивні якості, арсенід галієві сонячні панелі в першу чергу використовують для обладнання космічної техніки. Сонячні батареї такого типу використовувались при перших дослідженнях Венери і давали змогу зарядити

акумулятор при температурі у 120°C . Також арсенід галієві панелі встановлювали на «луноходи». Їх площа, яка складала всього лише $3,5\text{ м}^2$, виробляли середню потужність 180 Вт. Попри високу ефективність вони ще довели свою витривалість, працюючи в режимі «нон стоп» впродовж декількох місячних місяців. Для отримання фотоелементів арсеніду галію (AlGaAs), крім процесу дифузії, для отримання шару p-AlGaAs був використаний процес рідкофазної епітаксії, в той час як рп-перехід фотоелемента формувався завдяки дифузії домішок р-типу в основних матеріалах n-GaAs.[3]

Другий етап розвитку відбувся після того як компанії змогли отримати вихідну потужність 15-20 кВт, замість 3-5 кВт у попередніх поколіннях. Це стало реальністю завдяки використанню нової технології виготовлення арсенід-галієвих каскадних сонячних елементів на підкладці з германію (Ge). В теорії енергоефективність такої розробки складає 30%. В основі можна спостерігати використання гетеро структурних елементів InGaP/InGaAs/Ge на підкладці з германію.

Незважаючи на низький ККД, у світі з кожним роком створюють нові сонячні електростанції. Звичайно поки що вони не є конкурентоспроможними відносно теплових, атомних та гідроелектростанцій, бо найбільша збудована на даний момент СЕС має потужність 550 МВт – це Toraz Solar Farm у Сан-Луїсі, штат Каліфорнія, але сонячні батареї знайшли широке застосування у малому господарстві та побуті. Так наприклад, в країнах зі спекотним кліматом користуються популярністю так звані «домашні» сонячні панелі. Люди встановлюють їх на дахах, балконах або навіть подвір'ях щоб знизити вартість цін за електроенергію, покриваючи відсоток втрат безкоштовною та невичерпною «зеленою» енергією сонця.

Таку стратегію економії взяли на озброєння не тільки міське населення, а й фермери. Тепер вже не викликає подиву величезне поле на якому не ростуть агрокультури і не їздять комбайни. Доволі немало земель віднедавна заставлених сонячними панелями тим самим даючи можливість зменшити ціни на електроенергію в їхніх районах розташування. Також неможливо не сказати про використання додаткових джерел електричного струму, які знаходяться на великих виробництвах, фабриках та заводах. Потрібно зазначити що в цьому випадку використання сонячної енергії не тільки дозволяє зменшити витрати компанії, а й зменшує ціну вихідного продукту на ринку.

Набагато більшого визнання та успіху сонячні панелі отримали у космічній галузі. Вони стали основним джерелом живлення всіх штучних супутників Землі та міжнародних космічних станцій (рис. 1.2).

В першу чергу це через те що у часи запуску перших космічних апаратів на орбіту людство не мало таких паливних систем або акумуляторів, які б не перевищували допустиму вагу. Натомість сонячні панелі мають досить високе і чи не найкраще відношення маси до виробленої енергії, ніж всі існуючі традиційні джерела енергії, тож є економічно більш ефективними.[4]

Рис. 1.2. Приклад встановлення сонячних панелей на космічну станцію

Остання, але не за важливістю, галузь використання сонячних панелей – це транспорт. Перші спроби створити електромобіль на сонячних батареях

беруть початок у 1982 році. Саме тоді інженер-винахідник Ханс Толstrup на своєму «сонцемобілі» проїхав всю Австралію із заходу на схід з середньою швидкістю 20 км/год. Можливо це була не дуже гарна реклама електромобілів в цілому, але ідея використовувати сонячну енергію в автомобільній промисловості залишилась. Його конструкція та зовнішній вигляд зроблений з поправкою на те щоб розмістити якомога більше сонячних панелей в горизонтальній площині (рис 1.3)

Рис. 1.3. Зовнішні вигляд сонцемобіля

У 2002 році з німецького заводу виїжджає нове покоління люксового седану Ауді А8 в кузові D3, однією з опцій якої, був люк з сонячною панеллю потужністю 30 Вт при бортовій напрузі 12 В. Завданням цієї конструкції було регулювати температуру та забезпечувати приток свіжого повітря спекотного дня в салоні при вимкненому запалюванні, щоб заможний хазяїн почував себе у комфорті і турботі. Нажаль технологія була сирію і не знайшла достатньої кількості прихильників, тому не набула масового використання серед інших моделей компанії та автовиробників-конкурентів.

Наразі основні роботи з впровадження сонячних батарей у дах електромобіля веде американська компанія Tesla. І це цілком логічно, адже це дозволить збільшити максимальну дистанцію поїздки без зупинок на зарядку автомобіля влітку і додаткову енергію на опалення салону взимку, коли будь-які додаткові кіловати ніколи не будуть зайвими. Проте це все знаходиться у стадії розробки. Натомість корейський автомобільний концерн Hyundai, починаючи з другої половини 2020 року запускає у масове виробництво гібридну модель під назвою Sonata. Сумарна потужність панелей становить 205 Вт і вони напряду зможуть заряджати акумулятор від 30 до 60 відсотків, в залежності від погодних умов.

Отож людство досить часто почало використовувати саме сонячну енергію у повсякденному житті, але наразі сонячні батареї можуть покрити тільки 1% всієї виробленої електроенергії в світі. Хоча існують доведені твердження про те що кількість сонячного випромінювання, що доходить до поверхні, достатньо для повного забезпечення мешканців цієї планети електричною енергією.

1.2. Принцип роботи сонячних панелей

Давайте досконаліше проаналізуємо яким чином сконструйована та з чого складається сонячна панель. По-перше, сонячна панель або сонячна батарея – це набір з'єднаних між собою в один блок фотоелектричних перетворювачів. Визначення фотоелектричного перетворювача звучить наступним чином: це напівпровідниковий пристрій, що перетворює сонячне світло в електричний струм. В основі майже всіх сонячних панелей лежить кремнієвий напівпровідниковий фотоелемент (рис 1.4). Він складається з двох шарів кремнію з різним типом провідності. Як правило, в якості напівпровідника р-типу використовують кремній без домішок, а зверху вже знаходиться кремній з додаванням, наприклад, фосфору.

Рис. 1.4. Будова напівпровідникового фотоелементу: 1 – сонячне світло; 2 – анод; 3 – антиблікове покриття; 4 – кремній p-типу; 5 – межа двох станів; 6 – кремній р-типу; 7 – катод

Таким чином в межі їхнього контакту один з одним з'являється явище р-п-переходу (рис 1.5). Цей процес обумовлений різними типами носіїв зарядів, оскільки в напівпровідниках р-типу це позитивно заряджені дірки, а в п-типу – негативно заряджені електрони. Завдяки процесу дифузії – вирівнювання концентрації носіїв заряду через тепловий рух, на межі двох станів відбувається рекомбінація зарядів. Іншими словами з'являється нейтральний елемент.

Рис. 1.5. Явище р-п-переходу

Створена при цьому різниця потенціалів унеможливує проходження основних зарядів, але безперешкодно пропускає не основні, як наслідок починає протікати електричний струм.

Більшість сонячних елементів мають тільки один р-п-перехід, а це означає що вільні носії заряду виникають тільки під впливом обмеженої частини спектру сонячного випромінювання. Для того щоб використовувати сонячні хвилі різної довжини використовують багатошарову конструкцію пластини напівпровідника.

Ідея створення таких фотоелементів розглядалась як доволі очевидна з початку 60-х років, але отримала реалізацію тільки ближче до 80-х. Багато дослідницьких груп у світі сконцентрувалися на розробці перших двокаскадних елементів різних типів. Першою спробою було сконструйовано механічно з'єднаний елемент, хоча всім було зрозуміло що майбутнє за монолітною структурою.

В перше монолітна структура була впроваджена для елементів такого типу в американській лабораторії. Взявши за основу германієві підкладки, їм вдалося виростити методом епітаксії металоорганічних сполук з багатошарових структур газової фази (МОС HFE), що відповідало періоду решітки, коли верхній фотоелемент мав рп-перехід у твердому розчині $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$, а нижній фотоелемент у – GaAs . Послідовне з'єднання фотоелементів було здійснено через тунельний рп-перехід, який був спеціально сформований між каскадами. Згодом третій каскад із тунельним рп-переходом у підкладці германію був підключений до процесу фотоелектричного перетворення. Фактично ця подія відкрила нові можливості використання технології германія, який колись був першим застосованим матеріалом в напівпровідній техніці. Вартість германієвої підкладки була в рази дешевшою ніж аналогічної, зробленої з арсеніду галія. Але це був не єдиний плюс. Германій менше схильний до механічного пошкодження та може бути включений до фотоелектричного перетворення у каскадній структурі панелі.[5]

Остаточна багатошарова сонячна панель являє собою накладені один на одну декілька пластин, кожна з яких сприймає хвилю тільки відповідної їй довжини, утворюючи при цьому елемент що має назву тандемний, каскадний або багатоперехідний. Принцип їхньої роботи полягає в тому, що спершу сонячне випромінювання потрапляє на елемент з найбільшою забороненою зоною, але при цьому він поглинає фотони з найбільшою енергією. Фотони які пройшли перший шар проникають в наступний елемент і так далі.

Після процедури спаювання декількох окремих елементів утворюється певна площина потужність якої напряму залежить від кількості даних комірок.

Оскільки сонячна панель впродовж своєї експлуатації постійно контактує із навколишнім середовищем, її попередньо ламінують або розміщують у спеціальний короб, де основа – це алюміній, а зверху накладають скло. Це дуже важливий процес, адже сам по собі кремній досить крихкий матеріал і його легко може пошкодити якась дрібне каміння перенесене вітром або градом.

Серед всього асортименту сонячних панелей представлених на ринку виділяють 3 типи модулів, які формують їхню класифікацію:

- монокристалічні;
- полікристалічні;
- гнучкі.

У виготовленні монокристалічних сонячних батарей використовують монолітний кристал фотопровідного матеріалу, як правило кремнію (рис. 1.6). Саме цей тип має найвищий коефіцієнт корисної дії серед усіх інших. Такі панелі ідеально підходять для СЕС з малою площею, оскільки дозволяють зекономити місце. Мінусом монокристалічних елементів є їхня ціна, яка загалом впливає і на термін окупності, якщо ми говоримо про використання у власному будинку.

Рис. 1.6. Зразок монокристалічної панелі.

Дешевшим аналогом монокристалічних панелей можна назвати полікристалічні сонячні батареї (рис. 1.7). Однак при нижчій ціні елемента втрачається і ефективність використання. ККД у панелей цього зразка нижчий на 5-10% в порівнянні з попередніми. В їх основі так само найчастіше застосовують кремній, але у вигляді полікристалів.

Рис. 1.7. Зразок полікристалічної панелі.

Останні в списку та найновіші у виробництві і використанні – гнучкі сонячні батареї (рис. 1.8). Їхнім безкомпромісним плюсом завжди залишиться можливість встановлення на вигнуту поверхню, але технологія виготовлення методом напилювання напівпровідника на тонкоплівкову підкладку досить сира і не досліджена. Через це продуктивність даного типу не дозволяє конкурувати з іншими на ринку.[9]

Рис. 1.8. Зразок гнучкої панелі.

Попри сам модуль сонячної електростанції для її коректної роботи необхідні також акумуляторна батарея, спеціальний контролер та інвертор, для перетворення постійного струму в змінний. На сьогодні, для полегшення використання сонячної батареї в домашніх умовах виготовляють один спеціальний сонячний контролер, в якому вже знаходиться інвертор та реле. Реле відповідає за перемикання живлення від батареї на стаціонарну мережу живлення при повному розряді акумулятора. Таким чином ви не залишитеся без світла в неочікуваний момент часу. При експлуатації сонячних панелей в якості цілої електростанції до списку необхідного можна включити трансформатор, що підвищує середню напругу до високої, а також підстанції, яка вже перенаправляє струм до безпосередніх користувачів зеленої енергії.

1.3. Способи підвищення ефективності сонячних панелей

Оскільки сонячні електростанції мають не високий коефіцієнт корисної дії, людство намагається максимально збільшити кількість отриманої енергії. Перш за все, для відбору максимальної потужності, сонячні промені мають

падати на панель під прямим кутом, якомога більший проміжок часу за світловий день. Також потрібно звернути увагу на те, що кут положення сонця відрізняється у зимову і літню пору року (рис 1.9).[6]

Рис. 1.9. Траєкторія руху сонця відносно сонячних батарей.

Тож для збільшення ККД панелі встановлюють під певним кутом відносно сонця. Даний кут обирається залежно від широти місцевості встановлення панелей, причому для кращого відбору потужності доцільно використовувати спеціальний механізм зміни кута нахилу панелі на $\pm 23,5^\circ$.

Ще одним механічним способом відбору максимальної потужності можна вважати поворотний механізм. Технологія запозичена у природи, а точніше у соняшників, які для максимального фотосинтезу повертаються із сходу на захід впродовж світлового дня. Але в такій системі дуже важливий баланс. Потрібно розуміти, що поворотний механізм бере на себе частину відібраної потужності, тому як правило використовують додатковий контролер, який визначає на скільки виправданим буде поворот механізму в тих чи інших погодних умовах. В кінці світлового дня за допомогою таймеру приводиться в дію алгоритм повернення в початкове положення для того щоб нового дня почати все спочатку.

Найбільш дієвим способом відбору максимальної потужності можна назвати оцінку рівня енергії, що потрапляє на панелі та корекцію роботи сонячної батареї згідно з отриманими даними впродовж певного періоду. Для прикладу це може бути доба, світловий день або година. У випадку, коли базовим інтервалом

обрано добу, можливо визначити середнє значення енергії

, що може бути отримане від СЕС. Разом із цим не викликає важкості побачити рівні енергії

та

, які перевищують середнє значення і використовується для зарядки накопичувачем або мають значення менше за середнє і повертаються в мережу від накопичувача відповідно (рис. 1.10). Та все ж таки для більшої точності, подальшої корекції та покрокового зміщення доцільно обрати менший інтервал .[7]

Рис. 1.10. Приклад графіку зміни рівнів енергії

Оцінити рівень енергії, який потрапляє на сонячний елемент можна трьома способами. Перший з яких це застосування алгоритму пошуку точки максимальної потужності. Саме за таким алгоритмом працює МРРТ-контролер. Принцип роботи полягає в періодичному скануванні всієї вольт-амперної характеристики. Відштовхуючись від попередньо заданої точки максимальної потужності контролер змінює положення робочої точки на ВАХ та оцінює отримані результати. Якщо при підвищенні напруги потужність також підвищилась, то процедура повторюється до моменту зменшення потужності при підвищенні напруги (рис. 1.11). У цей момент для встановлення робочої точки в ТМП контролер починає працювати у протилежному напрямі, тобто зменшує напругу до моменту зменшення потужності. У такий спосіб

утворюється певний цикл за допомогою якого все ж таки встановлюються оптимальні струм та напруга в сонячній батареї.

Недоліком такого способу є постійна необхідність у провадженні обчислень, під час яких генерація енергії від панелей припиняється.

Рис. 1.11 Схема методу «Perturb and Observe»: MPP – точка максимальної потужності; VM – максимальна напруга; PM – максимальна потужність; VOC – напруга холостого ходу

Другий метод забезпечує фіксацію положення робочої точки для забезпечення режиму відбору максимальної потужності і має назву «IncCond» або «Incremental conductance», що в перекладі означає: метод додаткової провідності. Вся суть методу базується на геометричному змісті похідної. Якщо розглядати функцію залежності потужності від напруги, то її екстремумом або максимумом можна вважати ТМП, а в такому разі похідна функції у цій точці завжди буде дорівнювати 0 (рис. 1.12).

Рис. 1.12. Схема методу «IncCond»:

– похідна по напрузі; : MPP – точка максимальної потужності; V_{mpp} – максимальна напруга; P_{max} – максимальна потужність;

Відповідно з цим твердженням можна визначити що якщо похідна буде більше або менша від нуля – сонячна панель працює не на повну потужність.

Цим і керується контролер при пошуку ТМП, приймаючи рішення підвищити чи зменшити напругу на виході. Однак при роботі цього алгоритму використовують фіксовану довжину кроку, а це значно збільшує складність для пошуку робочої точки. Були спроби вирішення цієї проблеми шляхом впровадження змінної довжини кроку, проте це досить затратно з фінансової сторони. Проблема було вирішено шляхом додавання граничної похибки, яка в свою чергу регулює чутливість системи.

Останній, але не менш дієвий спосіб – це використання давачів освітлення. Якщо ми розглядаємо струм на виході сонячних панелей, в якості кінцевого результату проходження сонячного світла через навколишнє середовище, то не зайвим буде дати оцінку впливу даного середовища на величину отриманої енергії. Як правило основним джерелом перешкод потрапляння прямих сонячних променів на поверхню електричних панелей є хмари. Оцінити вплив можна за допомогою визначення щільності тієї хмари що заважає ефективній роботі електростанції. Взагалі класифікація хмар налічує досить багато видів і підвидів, але основна надана в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Найбільш цікавими для нас залишаються тільки різновиди та гібриди купчастих і шаруватих хмарин, бо саме вони можуть достатньо сильно вплинути на одержані результати перетворення сонячної енергії в електричну.

Купчасті та купчасто-дошові – це хмари вертикального розвитку. Їх особливістю є те, що товщина по вертикалі може сягати сотень метрів або навіть доходити до кількох кілометрів, деколи верхівка цих гігантів сягає висоти переходу тропосфери у стратосферу. Також це найнижчі хмари які можливо спостерігати: висота основи у помірних широтах знаходиться в межах 0,8 – 1,5 кілометрів

Купчастими називають щільні, вертикально розвинені хмари з куполовидними вершинами, плоскою сірою основою та різкими обрисами, які

розмиваються у пориві вітру. Окремі купчасті хмари (наприклад, плоскі купчасті (*Cumulus humilis*)) відносно плоскі. Вони спостерігаються у вигляді окремих хмар або значних скупчень, які охоплюють все небо. Причиною утворення купчастих хмар є сильні рухи повітря вгору, які викликані нерівномірним нагріванням або по іншому явищем теплової конвекції. Вони складаються з крапель води, які вгорі більшого розміру, і менші на дні. Якщо температура повітря нижча від нуля, краплі переохолоджуються. Опادي з купчастих хмар не випадають; але зрідка можуть випасти краплі дощу.[9]

А от з купчато-дощових можливі опади. У них утворюються грози, трапляються сильні зливи. Купчато-дощові (лат. *Cumulonimbus*, Cb) – густі білі хмари з темними основами, що піднімаються у вигляді величезних гірськоподібних мас. Вершини яскраво-білі, мають волокнисту структуру і досягають висоти 6-10 км. На небі вони знаходяться у вигляді окремих рідкісних хмар, рідше у вигляді скупчень. Нижня частина складається з крапель, верхня частина має змішану або кристалічну структуру. Купчато-дощові хмари утворюються при охолодженні повітря під час руху вгору з розвиненою тепловою або динамічною конвекцією.

Розрізняють ще високо-купчасті хмари – це вже хмари середнього ярусу, які знаходяться на висоті 2 до 8 км над поверхнею землі, в залежності від широти. Товщина такої хмари приблизно 200-1000 метрів.

Високо-купчасті хмари (лат. : *Altostratus*, As) – білі, іноді сірі або синюваті хмари у вигляді хвиль (хребтів), які складаються з окремих пластин або пластівців. Пластинки і зерна або розділені проміжками блакитного неба, або утворюючи суцільне покриття. Середня висота нижнього краю 2-6 км, товщина 0,2-0,7 км. Причиною утворення високо-купчастих хмар є хвильовий рух у високих реченнях у межах інверсії, на злегка похилому фронті та над гірськими бар'єрами. Також можуть утворюватися шляхом поширення густих купчастих хмар. Мікроструктура зазвичай крапельна, іноді кристалічна. Опادي з таких хмар не випадають, але можуть виникати періодичні смуги дощу. Одна з різновидів цього типу хмари – баштоподібні хмари можуть супроводжуватися грозами.[9]

На рис. 1.14 наглядно продемонстровані всі вище перераховані типи хмар, та інші, які також зустрічаються у природі.

Рис. 1.14. Класифікація хмар

Оскільки при накладанні умов навколишнього середовища сонячні панелі не можуть видавати максимально можливу потужність, а як висновок поводять себе непередбачено чим і знижують власну ефективність. Метою даної роботи стала ідея обчислення віртуальної щільності хмари, яка зменшує інтенсивність сонячного випромінювання, для подальшої корекції і прогнозування кількості отриманої електроенергії.

1.4. Давачі інтенсивності освітленості

Такі давачі мають назву піранометри – прилад для виміру щільності потоку сонячного випромінювання або його інтенсивності у ватах на метр квадратний. Технічно він вимірює інсоляцію сонця. Якщо дослівно перекладати назву приладу з Грецької то виходить що *пур*[пір] – це вогонь, *ано*[ано] – вказує

на щось згори, а *meter*[метр] означає міряти, тож дослівно назва *pyr-ano-meter* звучить як «Вимірювач вогню згори». Ці прилади також активно використовуються у метеорології та кліматології.

Існують два види піранометрів. І хоча вони виконують одну й ту саму роботи, працюють дуже різними способами. Перший вид – це піранометри на основі термопілля, які обчислюють кількість сонячного світла від кількості тепла яке воно виробляє. Другий вид сконструйовано на базі мікросхеми і робить розрахунки виходячи з кількості виробленої електроенергії.

Для лабораторних досліджень використовують піранометр першого виду (рис 1.13). Він являє собою термопілець (кількість термопар в якому може варіюватися від 50 до 100 у найточніших інструментах) встановлений на чорному вугільному диску, що генерує електроенергію в залежності від того, наскільки він нагрівається.

Рис. 1.13. Зовнішній вигляд піранометра

Щоб досягти найточніших вимірювань в конструкцію таких піранометрів вносять певні особливості. Найбільш помітною є купол зроблений з двох шарів полірованого оптичного скла або акрилового пластику, що покриває термопіль і виключає рухи повітря і бруд, які можуть вплинути на отримані результати. Через вигнуту поверхню будь-які краплі дощу моментально скочуються вниз. Всередині корпусу знаходиться невеликий змінний картридж з силікагелем, для запобігання вологи всередині і поглинає будь-яку вологу. Оскільки зазвичай піранометр встановлюється на вулиці під відкритим небом, його корпус повинен бути виготовлений з чогось на подоби нержавіючого анодованого алюмінію. Також нерідко в них вбудовують спиртовий рівень для того щоб кожен користувач міг переконатися, що його піранометр встановлений на плоскій горизонтальній поверхні.[30]

Коли сонячне світло падає на піранометр, термопільний давач пропорційно реагує, як правило, за 30 секунд або менше: чим більше сонячного світла, тим гарячіший давач і тим більший електричний струм, який він генерує. Термопіль розроблена таким чином, щоб бути точно лінійним, а також мати направлену реакцію: вона дає максимальний вихід, коли сонце знаходиться безпосередньо над головою (опівдні) та нульовий вихід, коли сонце знаходиться на горизонті (на світанку чи сутінках). Це називається косинусною залежністю, оскільки електричний сигнал від піранометра змінюється залежно від косинуса кута між променями сонця та вертикаллю. [30]

Але не всі піранометри в своїй основі мають термопіли. Значно дешевші і менш складні піранометри для сонячних панелей побудовані на базі світлочутливих напівпровідникових мікросхем, саме такі використовуються при дослідженнях у роботі. Креслення структурної (E1) та принципової (E2) схем зображено на рис. 1.14 та рис 1.15 відповідно.

Їхнім недоліком може стати менша точність вимірювань. Кращі термопільні піранометри призначені для того, щоб реагувати більш-менш однаково на широку смугу вхідних довжин світлових хвиль. Піранометри на основі мікросхем цього не роблять. Основний фактор який їх відрізняє від

попереднього виду є те, що вони реагують лише на обмежений діапазон довжин хвиль.

Рис. 1.14. Структурна схема піранометр: D1 – фотодіод; А, В – підсилювачі; R2 – потенціометр; ADC – вихід на АЦП.

Тому, хоча високоякісний піранометр може вимірювати довжину хвилі від 280–2800 нанометрів, версія для сонячної комірки може реагувати на довжину хвиль у набагато вужчій смузі приблизно від 300–1100 нанометрів (з піком в інфрачервоній області приблизно від 800-1100 нм).

Рис 1.15. Принципова схема піранометра: 1 – купол зроблений з півсфери скла або кварцу; 2 – зовнішній корпус; 3 – центральна частина піранометра; 4 – фільтр сонячного випромінювання; 5 – пластина фосфору; 6 – другий фільтр; 7 – алюмінієвий циліндр; 8 – фотодіод; 9 – підсилювач; 10 – потенціометр; 11 – другий підсилювач; 12 – вбудована батарея для підсилювачів; 13 – вивід виходу.

Але якщо ви не робите детальних вимірювань для лабораторних дослідів і експериментів, вони можуть абсолютно задовольнити ваші потреби. Тож вони ідеально підходять для завдання в роботі.

РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВІРТУАЛЬНОЇ ЩІЛЬНОСТІ ХМАРИ

2.1. Закон Бугера-Ламберта-Бера

За умови, що падаючий промінь характеризується інтенсивністю у кожній точці на промені, через те що його довжина значно перевищує ширину, то при проходженні через хмару маємо, що загальна інтенсивність випромінювання,

розрахована на одиницю площі, перпендикулярної до променя, поверхні, зменшується за законом Бера.

Закон Бугера-Ламберта-Бера – це фізичний закон, який визначає зменшення інтенсивності випромінювання монохроматичного пучка світла після проходження через певне середовище. Його можна представити наступною формулою:

де I – інтенсивність після проходження середовища; x – товщина слою середовища; I_0 – інтенсивність випромінювання на поверхні; – коефіцієнт поглинання.

Для того щоб змоделювати віртуальну щільність хмари даний закон потрібно трохи адаптувати. Оскільки хмара це не однорідний об'єкт, для визначення коефіцієнта поглинання потрібно інтегрувати функцію, якою задана щільність на проміжку висоти цієї ж хмарини. Згідно з цією умовою, закон Бера матиме наступний вигляд:

– коефіцієнт поглинання, значення якого розраховують в точках на прямій, що паралельна вісі Oz .

Знаючи що амплітуда інтенсивності пройденого через середовище хмари сонячного світла обернено пропорційна щільності хмарі, маємо змогу записати вираз для проекції хмари вздовж лінійного розповсюдження випромінювання. Отож проекцією можна вважати логарифм відношенням величини інтенсивності, яка потрапила на панель, до інтенсивності, що була зафіксована допоки насунула хмара: [7]

з урахуванням формули (2) матимемо:

У цьому випадку для того щоб знайти щільність хмари необхідно дізнатися набір проекцій хмари на різні площини. Подібна технологія використовується в комп'ютерній томографії і користується не аби яким попитом у сучасній медицині. Даний метод дозволяє внутрішню структуру об'єкту. Завдання подібне до поставленого у нашій роботі, лише з тією відмінністю що для КТ, використовується рентгенівське випромінювання замість сонячного.

Нехай поставлено завдання дізнатися щільність об'єкта заданого функцією залежності від двох змінних $f(x,y)$. У цьому випадку крізь об'єкт, що треба дослідити, пропускають сфокусовані промені рентгенівського випромінювання під кутом до горизонту (рис. 2.1).

Рис. 2.1. Схема отримання проекції

Інтенсивність променів падає після проходження об'єкта, пропорційно його щільності. З іншої сторони, на виході променів, знаходиться спеціальний пристрій який фіксує зниження інтенсивності.

Промені випромінювання розповсюджуються вздовж лінії l яка може бути записана наступним рівнянням:

де s – відстань до відповідного променя.

Тоді інтенсивність на виході буде визначатися інтегралом розподілу $f(x,y)$ вздовж кожного з променів l :

Зв'язок між двома системами координат визначений наступним співвідношенням:

А рівняння прямої (2) в такому випадку матиме вигляд:

Зафіксоване випромінювання

має назву Радонівське, а відповідне йому перетворення (6) – перетворення Радона. Для прикладу можливих подальших розрахунків зручно уточнити, що досліджує мий об'єкт має форму кола з радіусом a , який повністю покриває потрібну область дослідження. В цьому випадку інтеграл (6) отримує більш конкретні межі:

Таким чином кожному значенню радонівському образу відповідає власне значення вихідної функції $f(x,y)$, яке вона приймає вздовж лінії l , що задається параметрами s та φ . [8]

Якщо адаптувати цей метод для пошуку щільності хмар, то замість рентгенівських променів будуть задіяні сонячні, а приймачем з іншого боку виступатимуть сонячні панелі або давачі інтенсивності випромінювання на них.

Однак застосування цього методу підходить лише для випадку коли лінійна швидкість хмари

$=0$ відносно кутового переміщення сонця

, оскільки вимагає більше ніж одну проекцію. Тільки за цих умов визначення щільності за допомогою прямого і зворотного перетворення схоже на класичну томографію (рис 2). В цьому випадку джерело випромінювання змінює своє положення з точки 1 в точку 2 в часі, відносно дослідного об'єкта ab , у площині A . Одночасно з цим площина C ніяким чином не змінює свого положення відносно площини B і залишається фіксованою в просторі.

У реальних умовах за джерело випромінювання обирають сонце, а приймачами на площині S можуть бути як окремі давачі інтенсивності випромінювання, так і окремі комірки сонячних панелей.

Рис. 2.3. Схема класичної томографії: A, B, C – взаємно паралельні площини; a_1b_1 та a_2b_2 – перша і друга проекції об'єкта ab відповідно.

Через те, що у випадку коли хмара просто стоїть над СЕС немає потреби робити передбачення для корекції керування на наступні дискретні ділянки – цей варіант не був розглянутий у даній роботі.

2.2. Перетворення Фур'є

Як відомо, перетворення Фур'є – це наступний крок у вивченні рядів Фур'є. При роботі з рядами оперують складанням складних періодичних функцій, як суми простих хвиль. Математично ці хвилі можуть бути задані функціями синуса і косинуса. При умові що період заданої функції наближається до нескінченності, ряд Фур'є продовжується у вигляді перетворення Фур'є.

За допомогою інтегралу, використовуючи властивості синусів і косинусів можливо отримати амплітуду кожної хвилі. При цьому для полегшення обрахунків рекомендовано використовувати формулу Ейлера, яка має вигляд:

де

– умовна одиниця;

– кутова частота;

Це спрощує вираз при обчисленні багатьох формул. Представлення синуса і косинуса у вигляді складних показників означає, що коефіцієнти Фур'є є складними значеннями. Як правило, це складне подання числа інтерпретується для опису значення як амплітуди (або розміру) хвилі, яка є частиною заданої функції, так і фази (або початкового кута) хвилі.

Не часто комплексні експоненти можуть набувати від'ємного значення. При умові що одиниці виміру

є секунди, то хвилями

та

задаються різні частоти в перетворенні Фур'є, хоча повний цикл кожної дорівнює секунді. Таким чином частота залишається тісно пов'язана з одиницею часу, але вже не може визначати кількість періодів.

В повсякденному житті як правило використовують перетворення Фур'є для перетворення аналогових сигналів у цифрові (рис. 2.4).

Якщо дати визначення, то перетворення Фур'є – це сукупність операцій, яка дозволяє по заданій функції

знаходити відповідне їй зображення

. В загальному вигляді, її можна представити записом:

користуючись формулою (2) можна подати цей вираз у тригонометричній формі:

Рис. 2.4. 3D модель перетворення аналогового сигналу в цифровий

Для кращого розуміння ця форма запису наглядно продемонстрована на площині координат (рис. 2.5)

Рис. 2.5. Графіки залежності реальної та умовної складової від частоти

Математичний вигляд операції має наступний вигляд:

де F – умовне позначення перетворення Фур'є.

У цій роботі було використано дискретне перетворення Фур'є – базовий алгоритм обробки цифрових сигналів у частотній області. Перевагами цього методу є наявність алгоритмів швидкого перетворення. Метод дуже добре себе показав у роботі з цифровою фільтрацією та спектрально-кореляційним аналізом сигналів. Оскільки перетворення здійснюється на скінченній визначеній області має місце вираз:

підставивши його у вираз (3) матимемо вигляд формули ДПФ:

де k – номер гармоніки ($k = 0, 1, 2, \dots, N-1$); N – обсяг вибірки; $x_n(t)$ – значення функції в певний момент часу на вибірці; n – часовий індекс відліків ($n = 0, 1, 2, \dots, N-1$)

При обрахунках даної роботи використовувалась тригонометрична форма запису:

Після того як були здійсненні певні обрахунки над зображеннями проєкцій постає питання як же повернутися назад до функції яка залежить від часу. Для цього слід виконати обернене перетворення Фур'є, експоненціальна форма якого:

яка так само за допомогою формули Ейлера перетворюється на:

Виходячи з вище сказаних положень, немає жодних перешкод для початку впровадження перетворень Фур'є в розрахунок віртуальної щільності хмари, яка задається певною періодичною функцією на проміжку T .

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ВІРТУАЛЬНОЇ ЩІЛЬНОСТІ ХМАРИ

3.1. Адаптація методу зворотного перетворення

Як було сказано вище, корекція керування системою та кількість отриманої енергії залежать напряму від швидкості руху хмари відносно положення сонця. Для проведення обчислень було обрано випадок коли лінійна швидкість руху хмар

набагато перебільшує швидкість сонця

яка визначається його кутовим переміщенням. У цьому випадку положення сонця на деякому проміжку часу вважається фіксованим (рис. 3.1). В такому разі зберігається колінеарність ліній падіння променів $A - A$, $A' - A'$, $A'' - A''$ і одночасно з цим проєкція, тобто тінь від хмари, переміщується на деяку відстань h .

Рис.3.1. Проекція хмари за умови

Для спрощення обрахунків будемо вважати що хмара являє собою коло з радіусом R , хоча модель дозволяє оперувати з хмарами будь-яких форм та розмірів. Фіксацію зменшення отримання енергії будемо визначати завдяки давачам освітленості, встановлених у шаховому порядку з деяким кроком

як показано на (рис.3.2). При цьому по кількості одночасно затемнених давачів можна буде обчислити приблизну площу пропливаючої над ними хмари. Також це дає змогу визначити швидкість і напрямок вітру, а значить і ділянку котра буде в тіні наступна.

Рис. 3.2. Схема положення давачів освітленості відносно хмари на площі СЕС

Оскільки в сумарну інтенсивність сонячного випромінювання входять:

- потік прямого випромінювання;

- потік, що поглинається;
- потік відбитий від поверхні Землі;
- потік перевідбитий від хмари;
- потік наведений від інших об'єктів на земній поверхні.

Для спрощення розрахунків віртуальної щільності хмари буде використано тільки величину прямого і відбитого потоків.

Також хочу звернути вашу увагу на те, що хоч хмара проходить над давачами 12 та 13, їх показники не будуть внесені у розрахунки, оскільки у цей момент часу неможливо визначити загальну площу хмари і виходячи з цього – обчислити періодичність функції яка її задає.

Інтенсивність освітлення одиниці площі на кожному з давачів можна представити у вигляді добутку двох періодичних функцій:

де

- функція щільності хмари;
- функція сонячного випромінювання. Фактично розглядається хмара в якості фільтра, якщо розглядати сонячне випромінювання як вхідний сигнал, а $f(t)$ – сигнал на виході. В даному випадку $=const$ і визначається як середня інтенсивність сонячного випромінювання в ідеальних умовах за обраний проміжок часу.

Знаючи швидкість вітру

і відстань між давачами

, можна визначити через який проміжок часу

будуть зняті покази з давачів, використовуючи шкільну формулу визначення часу:

А оскільки за кількістю затемнених давачів можливо визначити площу, то можна знайти кількість вимірів N та період T , за який хмара повністю перейде на іншу область ділянки СЕС, тобто зменшення інтенсивності буде показувати зовсім інша, а точніше наступна група давачів.

Знаючи кількість вимірів у часі, нічого не заважає застосувати дискретне перетворення Фур'є до функції $f(t)$. Звідси ми отримуємо:

Та як наслідок, якщо об'єднати формули (2.11) та (3.1) матимемо:

Тоді для знаходження $H(k)$ достатньо буде виконати операції ділення:

Виходячи з умови, що

Тепер, знаючи всі невідомі можемо знайти $h(t)$, за допомогою зворотного перетворення Фур'є:

що і є шуканою щільністю хмари та головною метою цієї роботи.

Аби зробити обрахунки менш затратними в часі, формули (3.3) та (3.6) були приведені до тригонометричного виду і мають остаточний вигляд:

Визначивши всі необхідні для розрахунку формули можна переходити безпосередньо до виконання поставленого у роботі завдання.

3.2. Особливості розрахунку для реальних даних

Вхідні дані були отримані з електростанції, що знаходиться в місті Загреб, Хорватія. Для прикладу було обрано показники за більш-менш сонячний день «2» червня 2019 року (які знаходяться у табл. 1. дод. Н). В таблиці наведено

показники прямого, розсіяного та глобального випромінювання за добу (рис 3.3).

Рис. 3.3. Графіки залежності інтенсивності випромінювання від часу доби

Для подальших розрахунків будемо використовувати значення тільки для прямої інтенсивності випромінювання. Оскільки день був ясний, штучно було додано хмару, яка зменшувала інтенсивність випромінювання на 400 Вт/м^2 . Відлік часу проходження хмари над давачами вибраної області починається о 8:43 ранку (рис. 4). На графіку дуже добре видно провал інтенсивності випромінювання на 25 хвилин, бо задані наступні параметри:

Оскільки площа хмари за обрахунками повністю знаходилася над дев'ятьма давачами одночасно, покази цих давачів відносно часу занесені до табл. 3.1 і зафарбовані синім кольором. Середнє значення показників давачів які знаходяться площині одного поперечного зрізу зафарбовані помаранчевим.

Рис. 3.4. Графік залежності інтенсивності випромінювання від часу на давачу 11

Таблиця 3.1.

Щоб краще зрозуміти розташування хмари відносно давачів сонячної електростанції приведемо (рис.3.5) наочну схему розташування хмари над СЕС.

Рис. 3.5. Розташування хмари в площині СЕС.

Скориставшись формулою (3.2), отримаємо:

але оскільки давачі розташовані в шаховому порядку, наступний зріз показників відбудеться через 300с , бо відстань до перпендикуляру 21-22 становить

. Отож, знаючи що

, а діаметр хмари становить 250 м, отримуємо $N=5$. Знаючи кількість вимірів кожного зрізу записуємо вираз для прямого дискретного перетворення Фур'є, скориставшись (3.7):

де x_{11} , x_{51} – значення функції на зняте з давачів 11 та 51 відповідно; x_2 , x_3 та x_4 – середнє значення з групи давачів (21-22), (31-33) і (41-42) відповідно;

Підставивши в даний вираз k отримаємо таблицю гармонік (табл. 3.2) по кожному зрізу хмари від початку до кінця періоду та суму даних гармонік.

Таблиця 3.2

Тепер потрібно визначити чому дорівнює значення функції

і відповідне йому $S(k)$, оскільки воно є фіксованим і визначається як середнє арифметичне для заданого проміжку. Для цього, виходячи з географічного розташування і пори року у визначений період будемо ідеальну криву інтенсивності випромінювання (рис.3.6). З таблиці значень інтенсивності (табл. 2 дод. Н) для ідеальних умов виділяємо період знаходження хмари над визначеними раніше давачами (табл. 3.3).

Рис. 3.6. Ідеальна крива інтенсивності випромінювання

Відстань від давача 11 до 51 складає 200 метрів, а отже час переміщення хмари від початку до кінця обраної області займатиме 20 хвилин. Знаючи що протяжність хмари 250 метрів – не складно визначити що період складатиме 45 хвилин. Згідно початкових даних, обрано проміжок часу з 8:43 до 9:28 ранку.

Розрахунок проводимо за формулою:

де N – кількість знятих значень.

Таблиця 3.3

Наступним кроком буде ділення суми гармонік $F(k)$ на функцію інсоляції сонця $S(k)$ за формулою (3.5). В результаті отримаємо таблицю значень (табл. 3.4) для $H(k)$:

Таблиця 3.4

Завершальний етап дослідницької роботи – знаходження значень щільності хмари, яка задана функцією $h(t)$, за допомогою (3.8), але оскільки головною є гармоніка 0-го порядку, розрахунок буде проводитися тільки для $k=0$:

Отримані значення заносимо до табл. 3.5.

Таблиця 3.5

За результатами одразу можна помітити що нібито щільність хмари збільшується з часом. Насправді це не так, хоч і ми взяли фіксоване значення щільності, яке зменшує інтенсивність випромінювання на 400 Вт/м^2 , але на обраному проміжку часу у момент вимірів зростала сама інтенсивність випромінювання. Маючи результати обчислень можемо побудувати відповідну діаграму (рис. 3.7) для наочної демонстрації щільності хмари або побачити на теоретичному кресленні (ЕЗ). На ній добре видно що хмара пропускає крізь себе в середньому лише 40% падаючих променів. Оскільки хмара була штучно наведена для перевірки теоретичного матеріалу з пошуку алгоритмів визначення щільності хмар, є можливість перевірити точність та правильність результатів досліджень. Для цього достатньо обчислити відношення величини затриманої кількості інтенсивності до ідеальних показників з давачів у безхмарний сонячний день: що і треба було довести.

Рисунок 3.7. Віртуальна щільність хмари відносно її розмірів

Можна зробити висновки що розрахунки вірні і теорія має право жити, так само як має місце бути подальша розробка алгоритму для автоматичного підрахунку можливої кількості отриманої енергії за окремо виділений проміжок часу для наступної групи давачів (рис 3.8).

Рис. 3.8. Схема переміщення хмари з часом

Похибка у два відсотки, яка є допустимою і суттєво не впливає на отриманий результат, могла бути обумовлена обраними середніми значеннями інтенсивності випромінювання для давачів (21-22), (31-33) або (41-42).

ВИСНОВКИ

Запропонована методика дозволяє за допомогою методу зворотного перетворення визначати віртуальну щільність хмари за даними інтенсивності сонячного випромінювання, яке потрапляє на сонячні панелі, та екстраполювати отримані значення на наступну область сонячної електростанції. Також необхідно зазначити, що модель працює незалежно від вектору переміщення хмар над площиною сонячних панелей і залишається актуальною для будь-яких форм і розмірів хмари.

В подальших перспективах розвиток роботи полягає в написанні алгоритму, який буде в змозі планувати споживання енергії відшттовхуючись від кількості випромінювання забраного хмарою та вносити корекцію з метою подальшого прогнозування максимально можливої кількості спожитої енергії.

S U M M A R Y

Simulation of virtual cloud density

The diploma project of first educational level "Bachelor" by specialty 171 Electronics, specialization Electronic Systems Zbronskyi Oleksii National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». Faculty of Electronics, Department of Electronic Devices and Systems. Academic group DS-61 - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2020. – 51 p., Ill. 28, tables 6

Keywords: power plant, solar panels, density, projection, clouds, irradiance, tomography, reverse conversion method, fourier transform

In recent decades, more and more humanity is paying attention to the use of alternative energy sources, including solar. The production and introduction of photovoltaic cells into everyday life is becoming cheaper and more accessible to a larger population. Therefore, the topic we have chosen is quite relevant, as it is directly related to the operation of solar power plants.

The task was to verify the theoretical material by introducing existing data and modeling the actual operating conditions of solar panels.

How does it work

Let's take a closer look at how the solar panel is constructed and what it consists of. First, a solar panel or solar panel is a set of photovoltaic converters connected into one unit. The definition of a photovoltaic converter is as follows: it is a semiconductor device that converts sunlight into electricity. Almost all solar panels are based on a silicon semiconductor photocell (Fig. 1.4). It consists of two layers of silicon with different types of conductivity. As a rule, silicon without impurities is used as a p-type semiconductor, and silicon with the addition of, for example, phosphorus is already on top. Thus, the phenomenon of p-n junction appears within the limits of their contact with each other. The potential difference created at the same time makes it impossible for the main charges to pass, but it passes the non-main ones without hindrance, as a result of which an electric current begins to flow.

Fig. 1.4. Structure of a semiconductor photocell

Because solar power plants do not have a high efficiency, humanity is trying to maximize the amount of energy received. First of all, to select the maximum power, the sun's rays should fall on the panel at right angles for as long as possible during daylight hours. Therefore, to increase the efficiency of the panel is installed at a certain angle relative to the sun. This angle is chosen depending on the width of the panel installation area, and for better power selection it is advisable to use a special mechanism to change the angle of the panel by $\pm 23.5^\circ$.

Improving efficiency

The most effective way to select the maximum power is to estimate the level of energy entering the panel and correct the operation of the solar panel according to the data obtained over a period of time. For example, it can be day, daylight or hour. In the case when the base interval

is selected day, it is possible to determine the average value of energy

that can be obtained from SES. However, it is not difficult to see the energy levels and that exceed the average value and is used for charging by the drive or have values

, below the average and are returned to the network from the drive, respectively (Fig. 1.2). However, for greater accuracy, further correction and stepwise offset, it is advisable to choose a smaller interval

Fig. 1.2. Example of a graph of changes in energy levels and

There are three ways to estimate the level of energy that falls on the solar cell:

- Application of the maximum power search algorithm.
- Lock the operating point position for maximum power selection mode.
- Use of light sensors.

The latter was the most interesting for research and testing of theoretical developments. Such sensors are called pyranometers and are used to determine the intensity of solar radiation. They are based on a photodiode and a semiconductor chip. By taking readings of the intensity of these sensors, it is possible to control the maximum power selection system.

If we consider the current at the output of solar panels, as the end result of the passage of sunlight through the environment, it is not superfluous to assess the impact of this environment on the amount of energy received. As a rule, the main source of obstacles to direct sunlight on the surface of electrical panels are clouds. The impact can be assessed by determining the density of the cloud that interferes with the efficient operation of the power plant.

Model

As mentioned above, the correction of system control and the amount of energy received depend directly on the speed of the cloud relative to the position of the sun. For calculations, we chose the case when the linear velocity of clouds

far exceeds the speed of the sun, which is determined by its angular movement. In this case, the position of the sun for some time is considered fixed (Fig. 1.3). In this case, the collinearity of the lines of incidence of the rays $A - A$, $A' - A'$, $A'' - A''$ is preserved and at the same time the projection, or the shadow from the cloud, moves by some distance h .

Fig. 1.3. Cloud projection provided

To simplify the calculations, we will assume that the cloud is a circle with radius R , although the model allows you to operate with clouds of any shape and size. Fixation of energy reduction will be determined by light sensors installed in a checkerboard pattern with some step

as shown in (Fig. 1.4). In this case, the number of simultaneously dimmed sensors can be used to calculate the approximate area of the cloud floating above them. It also allows you to determine the speed and direction of the wind, and hence the area that will be in the shade next.

Since the total intensity of solar radiation includes:

- Direct radiation flux;
- Absorbed flow;
- Flow reflected from the Earth's surface;
- The flow is reflected from the cloud;
- The flow is from other objects on the earth's surface.

To simplify the calculations of the virtual density of the cloud, only the value of direct and reflected flows will be used.

Fig. 1.4. Diagram of the position of light sensors relative to the cloud in the area of the solar power plant

Knowing the number of measurements in time, there is nothing to prevent the application of a discrete Fourier transform to the function $f(t)$. From here we get:

By definition, a Fourier transform is a set of operations that allows a given function to find the corresponding image

. In general, it can be represented by the following:

The light intensity per unit area on each of the sensors can be represented as the product of two periodic functions:

And as a consequence, if we combine formulas (1.4) and (1.5) we have:

Then to find $H(k)$ it will be enough to perform division operations:

Based on the condition that

Now, knowing all the unknowns, we can find $h(t)$ by means of the inverse Fourier transform:

which is the desired density of the cloud and the main purpose of this work.

Схожість

Схожість із джерелами з Інтернету

4

2	http://eds.kpi.ua/wp-content/uploads/2020/06/Blank_Diplom_Bachalavr2020.docx	0.47%
4	https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28085/1/Tsymbal_bakalavr.pdf	2 Джерело 0.14%
7	http://afgp.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/05/Metod.-rekom.-do-napysannya-dyplomnyh-robot-OKR-spetsialist-Pravoznavstvo...	0.1%

Схожість по Бібліотеці акаунту

76

1	2020-bachelor-EDS_Didkovskyy_Dzherelo_zhyvlennya_fch	ID файлу: 1004030974	Institution: National Techn	30 Джерело	0.52%
3	Диплом Стрижеус А.І	ID файлу: 1000032450	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv P	30 Джерело	0.16%
5	Качор-ПЗ (1)	ID файлу: 1000083497	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic	13 Джерело	0.14%
6	ДК62.421417.001	ID файлу: 1003985890	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytech	3 Джерело	0.12%

Цитати

Цитати

4

- 1 Almost all solar panels are based on a silicon semiconductor photocell (Fig. 1.4).
- 2 However, it is not difficult to see the energy levels and that exceed the average value and is used for charging by the drive or have values , below the average and are returned to the network from the drive, respectively (Fig. 1.2).
- 3 In this case, the position of the sun for some time is considered fixed (Fig. 1.3).
- 4 Fixation of energy reduction will be determined by light sensors installed in a checkerboard pattern with some step as shown in (Fig. 1.4).