

Корисна модель належить до галузі відновлюваної енергетики, зокрема до систем моніторингу стану та забезпечення пожежної безпеки фотоелектричних модулів (сонячних панелей), і може бути використана в системах сонячної генерації електроенергії для виявлення локального перегріву, що може призвести до пожежі.

Корисна модель належить до систем захисту фотоелектричних модулів сонячних електростанцій від займання і виникнення пожежі внаслідок утворення дефектів фотоелектричних елементів фотоелектричних модулів сонячних електростанцій.

З рівня розвитку техніки відомо, що моніторинг стану сонячних електростанцій ґрунтується на вимірюваннях електричних параметрів, таких як напруга, струм, потужність постійного струму на рівні ланцюжків стрингів, що складаються із послідовно з'єднаних фотоелектричних модулів. Такі вимірювання виконуються в блоці суматорі, до якого підключаються стринги, при їх паралельному з'єднанні для досягнення необхідної сили струму. У такій стринговій технології моніторингу стану джерела енергії втрачається інформація про працездатність окремих фотоелектричних модулів усередині стрингів. При цьому температура поверхні модуля може через виникнення дефекту підвищитись до критичної пожежонебезпечної. Для запобігання цьому виробники можуть встановлювати захисні байпасні діоди у розподільчу коробку з тильної сторони фотоелектричного модуля. Проте, байпасний діод спрацьовує зазвичай при пошкодженні, перегріву одного або більше фотоелектричних елементів. При незначній площі перегріву в декілька десятків міліметрів квадратних діод не спрацює, а панель в такій гарячій точці може розплавитись і спалахнути.

Близько 25 % несправностей фотоелектричних модулів становлять гарячі точки, як результат перегріву невеликих ділянок модулів через затінення, забруднення, пошкодження. У науковій публікації [1] було досліджено фотоелектричний модуль, зокрема розсіяння тепла одним окремим елементом модуля з різним відсотком затінення в діапазоні від 1 % до 100 %, тобто змодельовано утворення гарячої точки. Було досліджено зв'язок температури гарячої точки та типу дефектів сонячних елементів (наприклад, точкових дефектів та площинних дефектів) з вихідною потужністю модуля. Результати моделювання показали, що температура гарячої точки модуля обернено корелює з дефектною площею сонячного елемента та позитивно корелює з вихідною потужністю модуля.

Якщо байпасний діод не спрацював, тоді температуру гарячої точки можна розрахувати за формулою

$$T_{\text{hot-spot}} = T_{\text{ambient}} + \frac{I^2 \cdot R_{\text{cell}}}{h \cdot A},$$

де: $T_{\text{hot-spot}}$ - температура гарячої точки, °C; T_{ambient} - температура навколишнього середовища, °C; I - струм через комірку, А; R_{cell} - опір дефекту фотоелемента, Ом; h - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м²·К; A - площа затінення або тепловиділення, м².

Результати розрахунку показують, що найбільшу небезпеку становить невеликий локальний дефект, який не активує байпасний діод, але викликає екстремальний перегрів. Дана формула є теоретичною і дає завищені результати, тому у публікації [1] проведено моделювання фізичного процесу нагріву частини фотоелектричного елемента методом скінченних елементів. При цьому отримано результати підвищення температури гарячої точки до 170-290 °C для площі ушкодження 1-5 мм², що може бути причиною займання поверхні модуля.

Для створення сонячної електростанції потрібно з'єднати тисячі фотоелектричних модулів. У разі несправності одного з модулів виникає проблема встановлення його місця розташування в масиві з метою подальшого очищення робочої поверхні (від забруднення), ремонту або заміни несправного модуля. Традиційна системи диспетчерського контролю не дає інформацію, який із модулів є джерелом порушення номінального режиму в масиві модулів, в кращому випадку видаються дані про зменшення генерації, проте розрізнити це зменшення досить складно і залежить від кількості модулів у стрингу. У разі виникнення дефекту в рядку фотоелементів модуля його автоматичне виявлення є досить складне, а тим більше виявлення дефекту окремого елемента або навіть його частини без оснащення модуля системою автоматичного сповіщення про появу підвищеної або пожежонебезпечної температури на його поверхні.

Патент US 8,665,575 B2 [2] описує сонячний модуль із захистом від перегріву, в якому використовуються термічні перемикачі для відключення струму в разі перевищення температури. Для виявлення перегріву та запобігання виходу з ладу фотоелектричного модуля останній оснащений системою захисту від перегріву, яка містить теплові датчики, з'єднані з електричними перемикачами для короткого замикання сонячних елементів у разі дефекту. Проте таке рішення потребує додаткового енергоспоживання та має складну електронну реалізацію, а також втручання в схему з'єднання елементів модуля, що суттєво в разі збільшує вартість модуля, при цьому не наводяться дані щодо будови, опису датчиків, перемикачів, можливості їх промислового виробництва і порівняльної вартості удосконалення.

Патент US 11,876,484 B2 [3] пропонує оптичну систему моніторингу перегріву сонячної панелі на основі термохромного шару, що дозволяє візуально оцінити стан модуля. Рішення містить множину

термохромних датчиків температури, термічно з'єднаних з різними ділянками сонячної панелі. Термохромні датчики температури налаштовані на зміну кольору у відповідь на тепло, що генерується сонячними елементами в різних ділянках сонячної панелі. Система керування налаштована на виявлення кольорів термохромних датчиків температури, визначення температури кожної ділянки сонячної панелі з використанням камер або додаткових датчиків розрізнення кольорів та вимикання сонячної панелі у відповідь на визначення того, що температура принаймні однієї ділянки сонячної панелі перевищує заданий температурний поріг. Однак таке рішення потребує встановлення відеокамер або датчиків дискретних розрізнення кольорів і для автоматичного формування тривожного сигналу потребуватиме застосування штучного інтелекту, що також таке рішення зробить неконкурентоспроможним через суттєве збільшення вартості і складності реалізації особливо автоматичного режиму вироблення тривоги.

Відомий патент RU 2803314 CI [4], який описує сонячний модуль з блоком діагностики, оснащений датчиками Холла у розподільній коробці байпасних діодів. При цьому в даному рішенні застосована система передачі сповіщень по радіоканалу, фотоелектричні модулі додатково обладнуються мікроконтролером. Система дозволяє відслідковувати електричний режим діодів, а значить їх спрацювання і відключення рядків модуля через появу щонайменше одного дефектного елемента в рядку. Однак не контролює температурний стан окремих елементів їх всієї площі, оскільки не має розподілених термодатчиків по всій поверхні модуля. Що по суті не забезпечує автоматичне сповіщення про появу пожежонебезпечної температури на поверхні фотоелектричного модуля, а оповіщає про появу підвищеної температури модуля через спрацювання байпасного діода, що не є пожежонебезпечним режимом. Це рішення обрано за аналог.

Жодне з вищенаведених рішень не забезпечує ефективного розподіленого контролю температури всієї площі модуля. Описані системи захисту не гарантують спрацювання при пошкодженні лише частини фотоелектричного модуля, оскільки орієнтовані на виявлення дефектів перегріву одного або більше фотоелектричного елемента модуля. Усі розглянуті рішення мають недоліки в контексті оперативного та локалізованого виявлення гарячих точок. Також, розглянуті рішення потребують втручання в електричну схему фотоелектричних модулів, що ускладнить доопрацювання модулів, які вже використовуються.

Запропонована корисна модель спрямована на подолання недоліків аналогу і має за мету забезпечити досягнення основного заявленого результату, що полягає у виявленні локального перегріву навіть частини площі фотоелектричних елементів модуля.

В основу корисної моделі поставлено задачу шляхом удосконалення конструкції фотоелектричного модуля без втручання в його електричну схему забезпечити автоматичне формування оповіщення про появу підвищеної і пожежонебезпечної температури модуля.

Поставлена задача вирішується тим, що система автоматичного оповіщення про появу підвищеної і пожежонебезпечної температури на поверхні фотоелектричного модуля сонячної електростанції, що містить закріплені на тильній стороні фотоелектричного модуля блок мікроконтролера, модуль приймально-передавального пристрою та розподільну коробку з байпасними діодами, згідно з корисною моделлю, додатково містить датчики температури байпасних діодів та сенсорні лінії у вигляді тонкого дроту, розподіленого по площі рядків фотоелектричних елементів модуля, що шунтуються відповідними байпасними діодами, при цьому термодатчики та сенсорні лінії електрично підключені до входів мікроконтролера для контролю температури байпасних діодів і цілісності сенсорних ліній, а інтерфейс зв'язку мікроконтролера з'єднаний з модулем приймально-передавального пристрою.

Суть корисної моделі пояснює креслення, на якому зображено структуру фотоелектричного модуля сонячної електростанції із системою автоматичного оповіщення про появу підвищеної і пожежонебезпечної температури на його поверхні. Позначення: 1 - фотоелектричний модуль прямокутної форми; 2 - модуль приймально-передавального пристрою з стандартом передачі даних ZigBee, Wi-Fi, приклеєний до корпусу фотоелектричного модуля; 3 - розподільна коробка з байпасними діодами та додатково встановленими термодатчиками кожного байпасного діода; 4 - модуль мікроконтролера, що з'єднаний з термодатчиками байпасних діодів, а також із кінцями дротів сенсорних ліній, кожна з яких прокладається з тильної сторони модуля вздовж відповідного рядка фотоелектричних елементів, що шунтується відповідним байпасним діодом; 5 - фотоелектричні елементи модуля, які об'єднані в рядки; 6 - сенсорні лінії тонкого дроту, зокрема мідного, які прокладені з тильної сторони фотоелектричного модуля.

Запропонована корисна модель належить до забезпечення автоматичного оповіщення про появу підвищеної температури при реєстрації її термодатчиками і автоматичного оповіщення про появу пожежонебезпечної температури при реєстрації її сенсорними лініями на поверхні фотоелектричних модулів сонячної електростанції.

На тильній стороні фотоелектричного модуля з кроком 5 мм або менше прокладається тонкий, зокрема мідний дріт діаметром 0,05-0,07 мм з температурою плавлення менше 500 °C і еквівалентною масою розривного зусилля до 50 гр. Кожна розподілена сенсорна лінія дроту перекриває з тильної

сторони один рядок фотоелектричних елементів, що шунтується відповідним байпасним діодом. Кожна лінія з'єднана з мікроконтролером, який вимірює опір дроту. Також на тильній стороні фотоелектричного модуля розміщена розподільна коробка з байпасними діодами та додатково встановленими термодатчиками кожного байпасного діода, що з'єднані з мікроконтролером, який вимірює температуру кожного байпасного діода і порівнює її з пороговим значенням.

При перегріві поверхні фотоелектричного модуля в наслідок виникнення дефекту в окремій ділянці, що не спричиняє спрацювання байпасного діода, але створює локальну високу температуру (гарячу точку), матеріал основи панелі може руйнуватися і зайнятися. Або від створеного натягу більше 50 гр або від виникнення полум'я у цій зоні відбувається обрив дроту сенсорної лінії, що спричиняє розрив електричного кола та зростання його опору на кілька порядків. Мікроконтролер реєструє цю зміну і виробляє оповіщення про появу пожежонебезпечної температури на поверхні фотоелектричного модуля. При перегріві фотоелементів окремого рядка, що спричиняє спрацювання відповідного байпасного діода, мікроконтролер виробляє оповіщення про появу підвищеної температури на поверхні фотоелектричного модуля із зазначенням рядка фотоелементів з дефектом. Сигнали оповіщення передаються через модуль радіозв'язку за протоколом ZigBee, Wi-Fi до інших модулів і далі до пункту управління або на безпілотний літальний апарат, який моніторить стан модулів сонячної електростанції.

Корисна модель може бути реалізована на будь-якому типі сонячних панелей з байпасними діодами шляхом монтажу на етапі виробництва або під час модернізації. Не потребує втручання в електричну схему фотоелектричного модуля, проста в реалізації та сумісна з протоколом ZigBee передачі даних на пост диспетчерського контролю сонячної електростанції. Забезпечує високу надійність і дешевизну у виробництві. Орієнтовні затрати не перевищать 10 % вартості фотоелектричного модуля.

Таким чином, сукупність викладених вище ознак створює умови для реалізації фотоелектричних модулів сонячної електростанції із системою автоматичного оповіщення про появу підвищеної і пожежонебезпечної температури на їх поверхні. Запропонована корисна модель може бути реалізована у фотоелектричних модулях сонячних електростанцій із використанням відомих електронних компонентів та технічних засобів.

Джерела інформації:

1. Deng S., Zhang Z., Ju C., Dong J., Xia Z., Yan X., Xu T., Xing G. Research on hot spot risk for high-efficiency solar module // Energy Procedia. (2017). Vol. 130. P. 77-86. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.09.399.
2. Pat. US № 8,665,575 B2. Solar module with overheat protection / Lawrence A. Clevenger, Harold J. Hovel, Rainer Krause, Zhengwen Li, Kevin S. Petrarca, Gerd Pfeiffer, Kevin Prettyman, Carl J. Radens, Brian C. Sapp. Publ. 2014.03.04.
3. Pat. US № 11,876,484 B2. Monitoring of photovoltaic cell temperature for improved power efficiency / Eric Y. Chang, Parviz Ghandchi Tehrani, Zachary A. Gentry, Matthew T. Reida. Publ. 2024.01.16.
4. Пат. RU № 2 803 314 C1. Солнечный модуль с блоком диагностики / Зиновьев Виталий Валерьевич, Мирсаетов Олег Марсимович, Колесова Светлана Борисовна, Бартенев Олег Архипович. Опубл. 2023.09.12.

