

УДК 621.311.69

Термоелектричний перетворювач сонячного випромінювання в електроенергію

Вілінський О.О., к.т.н., доц. Цибульський Л.Ю.

Вступ

Ефективному використанню сонячної енергії приділяється пріоритетна увага для вирішення енергетичних та екологічних проблем. Фотоелектричні перетворювачі являються ефективним засобом перетворення подаючого сонячного випромінювання в електроенергію.

Тим не менш, ефективність сонячних батарей все ще далека від тої, яку отримують використовуючи перетворення енергії на основі викопного палива. Однією з основних проблем низької ефективності кремнієвих сонячних батарей є те, що вони поглинають сонячне світло з довжиною хвилі до 800 нм, що є не ефективним та не повним використанням повного спектра сонячного випромінювання. Іншою проблемою є те, що більшість інфрачервоного випромінювання перетворюється в теплову енергію утворену на поверхні сонячної батареї, що призводить до збільшення температури її поверхні. В свою чергу, цей фактор веде до погіршення роботи фотоелектричного елемента, таким чином знижуючи його ефективність.

В свою чергу, утворене на поверхні фотоелектрика тепло можна

ефективно використати для перетворення його в електроенергію за допомогою термоелектричного генератора.

Вирішенням цих проблем є створення системи яка буде використовувати весь спектр сонячного випромінювання для досягнення більш високого вироблення енергії за рахунок використання теплової енергії як додаткове джерело електроенергії.

Конструкція та принцип дії

На рис.1 представлено зображення гібридної системи, що складається з модуля термоелектричного генератора (ТЕГ), модуля фотоелектричного елемента (ФЕ) з кремнію, теплового поглинача з поглинаючим шаром, проводячим шаром і шаром ізоляції, що були інтегровані в систему. Мідна фольга була виготовлена у формі чаші, щоб проводити тепло до ТЕГ. Чорна полімерна стрічка нанесена на поверхню мідної фольги, була використана в якості поглинаючого шару для поглинання сонячного тепла. Потім ТЕГ був прикріплені до мідної фольги на задній стінці ФЕ. Потім шар зі спіненого полімеру нанесений на задній частині мідної фольги в якості

ізолюючого шару. Алюмінієві ребра радіаторів були прикріплені до холодної сторони ТЕГ для розсіювання тепла.

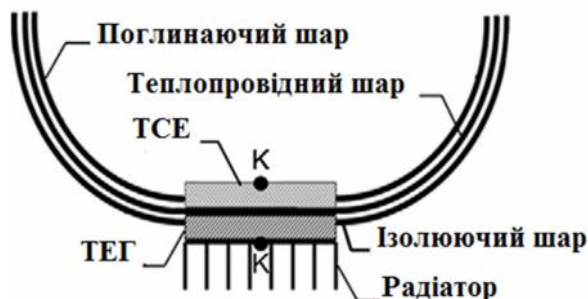


Рис. 1. Зображення приладу

Обидві сторони ТЕГ були покриті силіконовою змазкою, щоб зменшити тепловий опір. Температура ФЕ також передбачається як температура гарячої сторони ТЕГ, так як товщина ФЕ дуже мала.

Чорна полімерна плівка покриває поверхню мідної фольги в якості поглинаючого шару для поглинання сонячного тепла. Чашеподібний колектор тепла з високопродуктивним поглинаючим шаром добре поглинає сонячне світло. У той же час мідна фольга на добре відводить тепло до гарячої сторони ТЕГ. Це ключ, щоб зберегти велику різницю температур на ТЕГ. Коли ФЕ і ТЕГ з'єднані послідовно, напруга холостого ходу системи є сумою напруги кожного модуля. Але загальний вихідний струм залежить від меншого з ТЕГ і ФЕ.[1] Для того, щоб уникнути втрати електричної енергії, вироблену енергію ФЕ і ТЕГ, часто зберігаються в різних акумуляторних батареях або супер-конденсаторах, а потім використовується після регулювання електроенергії [2].

Сонячний спектр складається з діапазону електромагнітного випромінювання з довжинами хвиль в основному від 300 нм до 2500 нм, де ультрафіолетове випромінювання, видиме та інфрачервоне світло займають 3%, 44% і 53% променевої енергії, відповідно. Коли система працює, сонячне світло падає на поверхні ФЕ і теплового колектора. ФЕ може поглинути сонячне світло до 800 нм, то невикористаними видиме світло і частини інфрачервоної енергії перетворюються в виділяєме тепло. Інша сонячна енергія поглинається колектором тепла і перетвориться безпосередньо в тепло. Відпрацьоване тепло від ФЕ і поглинене тепло від теплового колектора все передається через мідну фольгу з гарячою боку ТЕГ. Водяне охолодження швидко приймає тепло від холодного боку ТЕГ. Таким чином, була створена значна різниця температур по ТЕГ, щоб дати високу енергетичну ефективність, а робоча температура ФЕ також падає, щоб показати відмінну продуктивність.

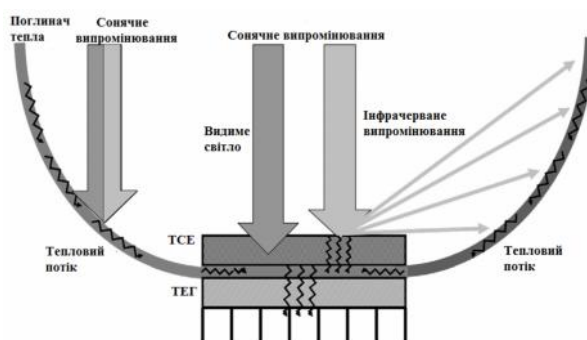


Рис. 2. Принципова схема теплового потоку

Розрахунки пристрою

Електричне коло з одним діодом вважається еквівалентною схемою ФЕ

модуля. Базова модель для фотоелементів показана на рис.3, де I_L , I_d , і I_{sh} є, відповідно, фотострум, зворотний струм насичення діода, і струм через шунтуючий опір; R_{sh} є опір шунта клітини; R_s є внутрішній опір елемента; R_{L1} є зовнішнє опір навантаження; і I представляє струм через опір навантаження. Загальноприйнята ВАХ рівняння фотоелектричного модуля може бути записана у вигляді [3]:

$$I = n_p I_L - n_p I_{rs} \times \left(\exp \left[\frac{qI(R_s + R_{L1})}{k_B T_p \mu n_s} \right] - 1 \right) - I \frac{R_s + R_{L1}}{R_{SH}} \quad (1)$$

де n_p і n_s число паралельних і послідовних елементів; μ коефіцієнт ідеальності діода; q - заряд електрона; k_B постійна Больцмана; і I_{rs} зворотний струм насичення.

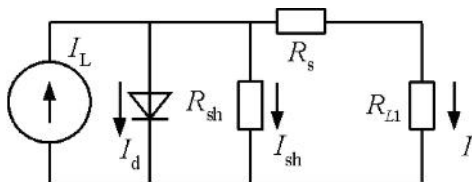


Рис. 3. Еквівалентна схема ФЕ модуля

За допомогою формул взятих з [15], вихідна потужність і ефективність фотоелектричного модуля визначаються:

$$P_{\Phi E} = \left(\frac{n_p G}{G_{ref}} (I_{L,ref} + \beta_i \Delta T) - n_p I_{rs,ref} \times \left(\exp \left(\frac{T_p}{T_{ref}} \right)^3 F_n \exp \left(\frac{qE_g}{k_B \mu} T_{rp}^{-1} \right) \right) \right)^2 R_{L1} \quad (2)$$

$$\eta_{\Phi E} = \left(\frac{n_p G}{G_{ref}} (I_{L,ref} + \beta_i \Delta T) - n_p I_{rs,ref} \times \left(\exp \left(\frac{T_p}{T_{ref}} \right)^3 F_n \exp \left(\frac{qE_g}{k_B \mu} T_{rp}^{-1} \right) \right) \right) \quad (3)$$

У даній роботі, фотоелектричний елемент Siemens SP75, з монокристалічного кремнію, використаний в якості фотоелектричного модуля і його основні параметри наведені в datasheet [4].

Теплової енергії, Q_h і Q_L , що протікають з модуля ФЕ до ТЕГ і від ТЕГ до радіатора, можна виразити у вигляді [26]:

$$Q_H = a T_H I_{TE} + K(T_H - T_L) - 0.5 I_{TE}^2 R \quad (4)$$

$$Q_L = a T_L I_{TE} + K(T_H - T_L) + 0.5 I_{TE}^2 R \quad (5)$$

де I_{TE} вироблений електричний струм.

До теплового потоку гарячої сторони Q_H додається тепло, яке утворилось в результаті відбитого сонячного випромінювання при попаданні його на поглинаючий шар абсолютно чорного теплопоглинаючого полімерного покриття, яке нанесене на мідну пластину, яка відіграє роль провідного шару, і визначається за формулою:

$$Q_{TP} = aS(T_{nom} - T_c) \quad (6)$$

де Q_{TP} це тепловий потік по поверхні полімерного покриття, S – площа поверхні, $T_{пов}$ температура поверхні теплопоглинаючого

покриття, а – коефіцієнт теплопередачі від поверхні до повітря.

Згідно з рівняннями (4) та (5) потужність ТЕГ може бути визначена як:

$$P_{TE} = Q_H - Q_L = a(T_H - T_L)I_{TE} - RI_{TE}^2 = R_{L2}I_{TE}^2 \quad (7)$$

Струм ТЕГ виражений у вигляді:

$$I_{TE} = \frac{a(T_H - T_L)}{R + R_{L2}} \quad (8)$$

За допомогою рівняння (8) можна визначити потужність ТЕГ модуля:

$$P_{TE} = \frac{ZK(T_H - T_L)^2 R_{L2}}{\left(1 + \frac{R_{L2}}{R}\right)^2} \quad (9)$$

де Z добротність напівпровідникового матеріалу. Базуючись на рівняннях (4) та (9) ефективність ТЕГ може бути визначена як:

$$\eta_{TE} = \frac{P_{TE}}{Q_H} = \frac{ZK(T_H - T_L)RR_{L2}}{a^2(R + R_{L2})T_H + K(R + R_{L2}) - a^2(T_H - T_L)R/2} \quad (10)$$

За результатами аналізу енергетичного балансу, що зібране тепло тече від ФЕ та полімерного покриття до ТЕГ, може бути виражено як:

$$Q_H = GA_{\Phi E} - I^2 R_{L1} \quad (11)$$

Передбачається, що теплові переміщення між гарячою стороною і

холодною стороною ТЕГ і їх відповідні показники підкоряються закону Ньютона. Таким чином, теплові потоки, що надходять до гарячої сторони ТЕГ і що залишають холодну сторону ТЕГ визначаються

$$Q_H = U_1 A_1 (T_P - T_H) \quad (12)$$

$$Q_L = U_2 A_2 (T_L - T_C) \quad (13)$$

де U_1 і U_2 коефіцієнти теплопередачі на одиницю площі гарячої і холодної сторін; A_1 і A_2 є теплообмінні зони гарячих і холодних контактів.

Використовуючи формули. (2) і (9), можна знайти, що вихідна потужність і коефіцієнт корисної дії гібридної системи може бути виражена як:

$$P = P_{\Phi E} + P_{TE} = I^2 R_{L1} + \frac{ZT_{HL}^2 R_{L2} (k_p + k_n) (p_p + p_n) \gamma^2}{\left((p_p + p_n) \gamma + R_{L2}\right)^2} \quad (14)$$

$$\eta = \frac{P_{\Phi E} + P_{TE}}{GA_{\Phi E}} = \frac{I^2 R_{L1}}{GA_{\Phi E}} + \frac{R_{L2} Z T_{HL}^2 (k_p + k_n) (p_p + p_n) \gamma^2}{GA_{\Phi E} \left((p_p + p_n) \gamma + R_{L2}\right)^2} \quad (15)$$

Де $T_a = 0.5(T_H + T_L)$ є середньою температурою термоелектричного модуля.

Очевидно з наведених вище рівнянь, що вихідна потужність і коефіцієнт корисної дії гібридної системи, залежать від добротності Z, інтенсивності сонячного випромінювання G, структурного

параметра γ , опорів навантаження R_{L1} і R_{L2} .

Результати та параметри отримані з розрахунків

Після проведення розрахунків за цією схемою, використовуючи значення конструктивних параметрів сонячного елемента SPR-435NE-WHT-D та 3632 модулів термоелектричного генератора CP2-127-06, були отримані такі результати, які були розраховані для середніх кліматичних широт України, а саме: інтенсивність сонячного випромінювання складає 1300 Вт/м^2 , середня річна температура складає 284К , а швидкість вітру сягає 3м/с . Всі ці параметри є середньорічні і є доступними на сайті гідрометцентру України [5].

В результаті моделювання цієї гібридної фото-термоелектричної системи були отримані дані, які відображені на рисунках.

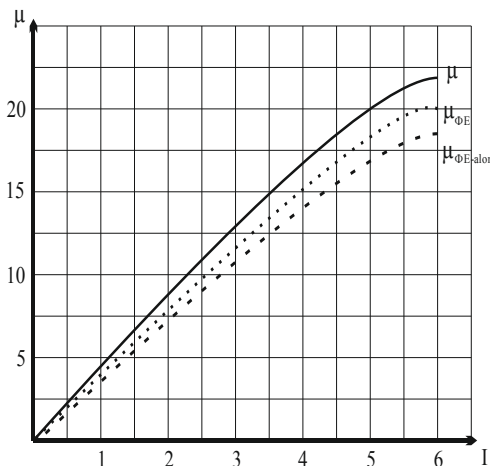


Рис. 4. Криві ефективності по відношенню до струму

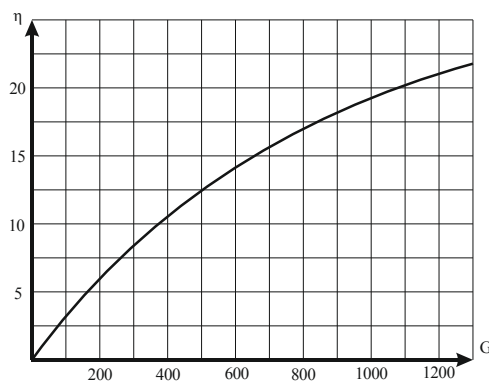


Рис. 5. Залежність максимальної ефективності гібридної системи від різної інтенсивності сонячного випромінювання

Висновок

Як можливо побачити з даних на рисунках, інтегрування модуля ТЕГ, а також тепло поглинаючого шару призводить до збільшення ККД сонячної батареї, що само собою являє створення нової фотоелектричної термоелектричної перспективної системи.

Була розрахована нова теоретична модель системи гібридної генерації енергії, щоб дати більш високу ефективність вироблення електроенергії з сонячної батареї.

В такий спосіб розроблено інтегрований колектор тепла між ФЕ і ТЕГ, який складається з оптимізованого поглинаючого шару, провідного шару і шару ізоляції. Поглинаючий шар використовується для збору покращеної на нього сонячної енергії і відбитої енергії від сонячної батареї. Шар ізоляції може запобігти втраті тепла і провідний шар забезпечує ефективну теплопровідність.

Гібридна конструкція реалізує системну інтеграцію та зменшує втрати енергії. Набагато більше тепла збирається на гарячій стороні ТЕГ через конструкції теплового колектора, а потік тепла сприяє більш ніж збільшенню в десять разів після інтегрування.

Спільними підвищення вихідної потужності для ТЕГ і ФЕ виходить і загальна вихідна потужність системи була поліпшена за рахунок оптимізованої її конструкції. Загальний обсяг генерованої потужності системи підвищується до 460.4 Вт. Це вказує на те, що така гібридна система може ефективно підвищити ефективність фотоелектричного перетворення і розширити використання сонячного спектра.

Таким чином, можна зробити висновок, що це перспективний шлях для використання сонячної енергії за рахунок повного поглинання сонячного спектру випромінювання. Також така система сприяє підвищенню ефективності самого ФЕ за рахунок відведення температури з його поверхні, з подальшим перетворенням його в електроенергію.

Література

1. Гуо Х., Занг Ю., Квін Д., Лао Ю., Лі Д., Панг Ю., Менг К. Гібридний тандем сонячних елементів для перетворення одночасно світлової і теплової енергії з використанням

повного сонячного спектра. Джерела енергії. – 2010 - №195 – С 7684-7690.

2. Юу Х., Вонг З., Фламан Г., Зао В. Чисельний аналіз і оптимізація фотоелектричної-термоелектричної гібридної системи в спектрі концентрації розщеплення. Сонячна електроенергія. –2012 -№86 –С 1941-1954.
3. Чае Ц., Лін І., Шен Ц. Впровадження DSP контрольованої фотоелектричної системи з піковою потужністю стеження. IEEE перетворення електроенергії. – 1998 - № 45 – С 99.
4. Технічні характеристики сонячного елемента SPR-435NE-WHT-D. datasheet. - 2013.
5. Український ідрометеорологічний центр. Режим доступу до статті - <http://meteo.gov.ua/>(дата звернення 12.05.16).
6. Джан Л.,Тайанжан Л., Біхонг Л., Аналіз продуктивності і узгодження навантаження фото-гальванічної-термоелектричної гібридної системи. Конверсія енергоменеджменту. – 2015- №105