

УДК 537.322.11

Дакус С.В., студент гр. ПБ-15-1, к.т.н., доц. Криницький О.С.
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ

Анотація. Здійснено аналіз параметрів термоелектричних генераторів які впливають на їх ефективність. Проведено короткий огляд методів вимірювання даних параметрів. Наведено конструкцію установки для вимірювання характеристик подібних пристроїв.

Ключові слова: термоелектричний генератор, ефективність, добротність.

ВСТУП

На сьогодні широкого розповсюдження набули пристрої які працюють на ефекті Зеебека які називають термоелектричними генераторами, і ефекті Пельтьє які називають термоелектричними охолоджувачами. Термоелектричні генератори і охолоджувачі є твердотільними пристроями, які здатні генерувати електрику або охолоджувати без будь-яких проміжних рідин або хімічних процесів. Вони в собі не мають рухомих частин, що забезпечує можливість тривалої роботи з мінімальним обслуговуванням. Крім того, це дозволяє забезпечувати досить тихе охолодження у порівнянні зі звичайними холодильними системами на базі компресорів. Ці критерії роблять термоелектричні прилади надзвичайно привабливими для безлічі застосувань.

Зокрема для вироблення електроенергії термоелектричні генератори використовуються в автомобілях як пристрої для відбору тепла з відпрацьованих газів в космічних дослідженнях для перетворення теплової енергії, що виділяється під час розпаду радіоізотопів [1].

З іншого боку, термоелектричні охолоджувачі широко застосовуються в системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря в транспортних засобах. Завдяки їх здатності бути мініатюризованими вони підходять для контролю температурно-чутливого обладнання, такого як хірургічні інструменти, волоконно-оптичні лазери в телекомунікаційних системах. Термоелектричні охолоджувачі можуть також бути вбудовані в мікропроцесори для досягнення точного контролю температури [2].

Завдяки широкому спектру застосувань термоелектричних пристроїв масове виробництво термоелектричних модулів набуло широкого поширення. Розробники, які прагнуть використати термоелектричні пристрої в свої системи, стикаються з складним завданням вибору потрібного типу термоелектричного модуля, який би відповідав вимогам до нагрівання, охолодження, або генерування енергії.

Виробники схильні надавати якомога більше інформації своїм споживачам. Ця інформація може бути представлена різного роду кривими або даними на веб-сайтах або у вигляді електронних документів. Пошук між продуктами в межах однієї компанії виробника може бути простим, але виникають труднощі, коли дані не стандартизовані між різними виробниками. Розробники часто вважають, що порівняння продуктів у таких випадках є складним. Незважаючи на те, що

виробники надають якомога більше інформації щодо своїх продуктів, спільність між ними обмежена

Єдиним надійним методом оцінки фактичних параметрів термоелектричних модулів є їх придбання у виробника і експериментальне випробування їх, але такі способи є трудомісткими і дорогими для споживача. Крім того, не всі споживачі мають можливість тестування модулів у контрольованих середовищах.

Як альтернативу можна запропонувати аналітичне визначення продуктивності термоелектричних модулів за допомогою спрощених або ідеальних співвідношень. Проте дані співвідношення не можуть бути використані через відсутність інформації про властивості матеріалів які використані для виготовлення модуля (коефіцієнт Зеебека, електропровідність і коефіцієнт теплопровідності) яка зазвичай не доступна через приватність або патентозахищеність.

Незважаючи на відмінності в поданні інформації виробниками, максимальні параметри продуктивності зазвичай завжди надаються. Для термоелектричного генератора такими є - максимальний струм, максимальна напруга, максимальна вихідна потужність і відповідна ефективність при максимальній вихідній потужності. Для термоелектричного охолоджувача вони такі максимальна різниця температур, максимальний струм який треба подати на модуль, максимальна напруга і максимальна потужність охолодження.

Таким чином, за мету даного дослідження можна поставити експериментальну перевірку характеристик поданих виробниками термоелектричних пристроїв.

ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕГ

Метод стаціонарного стану. Даний метод випробування реалізовується наступним чином, фіксуються стабільні температури гарячої T_H і холодної сторони T_C ТЕГ і вимірюється тепловий потік q , напруга і струм для певних значень електричних навантажень. Перед зніманням даних модуль повинен досягти стабільного стану при кожному навантаженні. Коефіцієнт Зеебека та електричний опір визначають шляхом підбору напруги та струму і використовуючи наступне співвідношення $U = \alpha(T_H - T_C) - IR$, де α - коефіцієнт Зеебека, I - струм який протікає через модуль, R - опір модуля, U - напруга генерована модулем

Теплопровідність, K , обчислюється з рівнянь

$$q_H = \alpha IT_H - \frac{1}{2} I^2 R + K(T_H - T_C) \quad , \quad q_C = \alpha IT_H + \frac{1}{2} I^2 R + K(T_H - T_C)$$

Метод стаціонарного стану є методом, який є найбільш наближений до реального використання ТЕГ.

Швидкий метод стаціонарного стану. Різновид методу стаціонарного стану, використовує програмоване електронне навантаження, щоб уникнути порушення теплової рівноваги модуля. Реалізація методу починається з ТЕГ в стаціонарному стані з фіксованими температурами і струмом. Вимірюють початкову швидкість нагрівання, температури, напруги та струм. Швидкодіюче

електронне навантаження використовується для вимірювання напруги і струму починаючи з холостого ходу і до струму короткого замикання.

Даний метод набагато швидший, ніж метод стаціонарного режиму оскільки його короткочасні навантаження не порушують теплової рівноваги модуля ТЕГ, що призводить до більш швидшого виконання наступного вимірювання.

Модифікований метод Хармана. Метод Хармана розроблений Т. С. Харманом для обчислення термоелектричної добротності ZT з використанням тільки вимірювань напруги. Модифікована версія дозволяє вимірювання всі термоелектричні властивості якщо провести вимірювання температури. Одна сторона термоелектричного модуля утримується ізольованою від навколишнього середовища, а інша - при постійній температурі. На модуль подається струм і на ньому виникає різниця температур. Напруги які виникають перед і після припинення подачі струму U_i і U_0 відповідно, вимірюються разом із температурами які встановлюються на ТЕГ. Для усунення впливу нагрівання внаслідок ефекту Джоуля тестування виконується двічі, один раз у одній полярності а наступний раз у зворотній полярності. Рівняння дозволяють

визначити термоелектричні властивості ТЕГ $\alpha = \frac{U_0 - U'_0}{T_1 - T'_0}$;

$$R = \frac{(U_i - U'_i) - (U_0 - U'_0)}{-2I}; \quad K = \frac{-\alpha I (T_1 + T'_1)}{T_1 - T'_1}; \quad R = \frac{U_0 - U'_0}{-(U_i - U'_i) - (U_0 - U'_0)}$$

де T_1 -

температура ізольованої від навколишнього середовища сторони модуля, а позначення штриха – вимірювання при зворотній полярності.

Метод Хармана усуває необхідність досить складного вимірювання теплового потоку.

Метод Гао Міна. Мін і Рове розробили метод з використанням постійного теплового потоку [15]. Вони встановили що ZT може бути виражено як функція температури не замкненого та замкненого ТЕГ, якщо теплові потоки рівні, тобто

$$q_{H,s} = q_{H,0} \text{ тоді } ZT = \frac{\Delta T_0}{\Delta T_s} - 1 \text{ де } \Delta T_0 \text{ і } \Delta T \text{ це різниці в температурі не замкненого}$$

та замкненого ТЕГ. Інші термоелектричні властивості можуть бути обчислені з

$$\text{рівнянь } \alpha = \frac{U_0}{\Delta T_0}, \quad R = \frac{\alpha \Delta T_s}{I_s} \text{ припускаючи, що } \alpha \text{ є сталою під час вимірювань не}$$

$$\text{замкненого та замкненого ТЕГ ми можемо обчислити } ZT = \frac{\alpha^2 T}{RK}.$$

Метод Гао Міна також не потребує вимірювань теплового потоку, однак даний метод дуже чутливий до коливань теплового потоку [3].

РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕГ

Для дослідження характеристик ТЕГ нами була розроблена установка (рис. 1). Нагрівання модуля здійснюється за допомогою плоского керамічного нагрівника який увімкнений у мережу змінного струму через терморегулятор який забезпечує стабілізацію температури на модулі. Для вимірювання

температури використано термопари типу ХК. Охолодження протилежної сторони модуля здійснюється за допомогою радіатора з активним охолодженням. Притискання модуля ТЕГ до радіатора і нагрівача реалізується за допомогою притискного механізму який реалізований притискною планкою і пружиною тарілчастого типу.

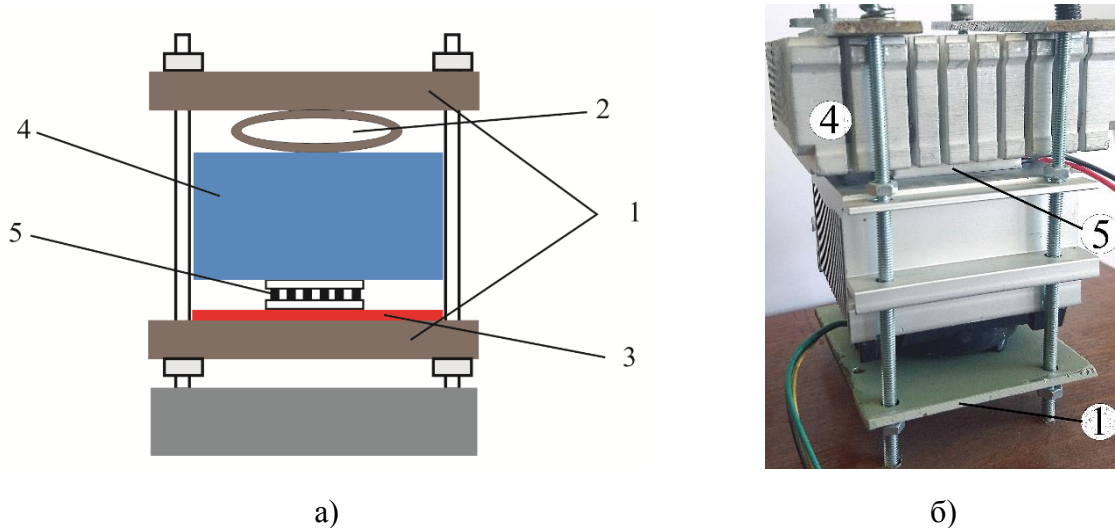


Рисунок 1. Схематичний вигляд (а) реальний вигляд (б) установки для вимірювання термоелектричних параметрів

Методика експерименту наступна ТЕГ нагрівається до певної температури, після стабілізації температури очікують ≈ 5 хв. для стабілізації теплових потоків в модулі. Після чого проводяться вимірювання температури гарячої і холодної сторін, напруга холостого ходу ТЕГ, і струм який може згенерувати модуль. Для створення навантаження для модуля ТЕГ використано електронне навантаження побудоване за стандартною схемою на операційному підсилювачі і польовому транзисторі. Процес вимірювання повторюється для кількох заданих температур. Параметри ТЕГ розраховуються як у методі Хармана.

ВИСНОВКИ

Здійснено аналіз параметрів продуктивності ТЕГ, а також методів їх дослідження. Запропоновано експериментальну установку для перевірки характеристик поданих виробниками для ТЕГ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] S. Kim et al., "Thermoelectric power generation system for future hybrid vehicles using hot exhaust gas," *Journal of Electronic Materials*, vol. 40, no. 5, pp. 778-784, 2011.
- [2] G. J. Snyder, M. Soto, R. Alley, D. Koester, and B. Conner, "Hot spot cooling using embedded thermoelectric coolers," in *Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium*, Dallas, 2006, pp. 135-15
- [3] G. S. Nolas, J. Sharp, and H. J. Goldsmid, *Thermoelectrics*. Heidelberg, Germany: Springer, 2001.