



Тащук Д.Д.

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРИ У ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОМУ ВИМІРЮВАЛЬНОМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Тащук Д.Д.

(Інститут термоелектрики, вул. Науки, 1,
Чернівці, 58029, Україна)

-
- Побудовано комп'ютерну модель термоелектричного вимірювального перетворювача на основі термобатареї з малим числом термопар (3–5 шт.). Досліджено розподіл температури у нагрівнику перетворювача з нелінійним розташуванням термопар вздовж нагрівника. Нерівномірне розміщення термопар вздовж нагрівника дає можливість оптимізувати розподіл температури в нагрівнику без застосування великого числа термопар (30–60 шт.). Використання малої кількості термопар робить можливим зменшити рівень шумів. Розраховано оптимальне співвідношення між тепловими опорами термобатареї та нагрівника, при якому мінімізується дія ефекту Томсона, відношення теплового опору нагрівника (R_H) до теплового опору термобатареї (R_T), K , повинно знаходитися в діапазоні 0.35–0.5. Запропоновано конструкцію термоелектричного перетворювача з оптимізованим розподілом температури.

Вступ

Точність і надійність сучасних електровимірювальних приладів та установок для визначення ефективного (дієвого) значення змінного струму, напруги, потужності і коефіцієнта потужності в широкому діапазоні частот значною мірою залежить від параметрів і характеристик термоелектричних перетворювачів, що лежать в основі побудови цих приладів. Найвищі метрологічні й експлуатаційні характеристики досягнуто в напівпровідникових термоелектричних вимірювальних перетворювачах, що є елементною базою для створення еталонів одиниць електричних величин багатьох країн [1, 2, 3].

Перспективним напрямком створення сучасних вимірювальних термоперетворювачів є застосування високоефективних напівпровідникових матеріалів оптимізованих за температурою стабільністю основних параметрів у відповідності з вимогами вимірювальної техніки і метрології [4]. Особливі вимоги щодо точності перетворення ставляться до термоелектричних вимірювальних перетворювачів, що застосовуються для побудови національних еталонів одиниць електричного струму. Отже, актуальним є завдання підвищення точності термоелектричних перетворювачів метрологічного призначення.

Дія ефекту Томсона призводить до порушення симетрії в розподілі температури нагрівача і до зміщення ділянки максимального нагріву залежно від напрямку струму через нагрівач.

Експериментально доведено вплив ефекту Томсона на точність перетворення: для константанових нагрівників за струму 0.1; 0.5; 1.0 А похибка становить не менше 0.06%, для ніхрому і платино-іридія за струмів 1; 2; 5; 10; 20; 50; 200 мА – не менше 0.01%. Менша похибка у перетворювачів з ніхромовим нагрівником. Зменшення цих похибок досягається з вибором матеріалу, який має мінімальний ефект Томсона. Найкращі результати отримані для нагрівників із манганіну чи платино-іридієвого сплаву (85%Pt – 15%Ir); похибка переходу від постійного до змінного струму в цих випадках не перевищує 0.005% [5].

Іноді для зменшення похибки впливу ефекту Томсона використовують провідник, який

відводить електричний струм від ділянки, близької до центра нагрівника. Ним, за допомогою шунтуючого опору зменшується потужність у тій частині нагрівника, де ефект Томсона призводить до надлишкового нагріву [6].

Зміна параметрів перетворювача в інтервалі температур зумовлена низькою причин, в першу чергу температурними залежностями властивостей матеріалів термопари і нагрівника, зміною умов теплообміну. Їх вплив можна зменшити, якщо в коло термопари ввести елементи компенсації. Зменшення похибок може бути досягнуто і відповідним вибором матеріалів термопари і нагрівника [7, 8]. Температурні залежності можуть компенсуватися майже повністю і з використанням зрівноважених диференціальних схем із двома ідентичними перетворювачами [9].

В сучасних багатоелементних перетворювачах для отримання належного рівня сигналу та виду розподілу температури використовуються термобатарей з великим числом термопар (30 – 60 шт.) [3]. Велике число термопар зумовлює збільшення опору термобатарей, що призводить до зростання рівня шумів. Для зменшення рівня шумів без зменшення рівня сигналу, необхідно застосовувати термобатарей з малим числом термопар з високоефективних напівпровідникових термоелектричних матеріалів. Мета пропонованої роботи – дослідження можливості оптимізації розподілу температури в нагрівнику термоперетворювача з малим числом термопарю.

Теоретична частина

Видом розподілу температури, а відповідно і величиною впливу ефекту Томсона, можна керувати за допомогою геометричних параметрів термоперетворювача. Для розв'язання поставленої задачі нами було розроблено термоперетворювач, конструкцію якого зображено на рис. 1.

Було побудовано фізичну модель досліджуваного термоперетворювача. Для опису фізичної моделі складено систему рівнянь (1)

$$\kappa_i S_i^n \frac{d^2 T_i}{dx_i^2} - \gamma_i P_i (T_i - T_0) - \xi_i \sigma_0 P_i (T_i^4 - T_0^4) + \frac{\rho_i I_i^2 S_i^n}{S_{m_i}^2} = 0, \quad (1)$$

де I_i – струм, S_i^n – переріз, P_i – периметр i -того елемента перетворювача, κ_i , ρ_i , γ_i , ξ_i – відповідна теплопровідність, питомий опір, коефіцієнт теплообміну із середовищем, неповнота випромінювання, σ_0 – постійна Стефана-Больцмана.

Граничні умови:

$$\begin{cases} T_0 = 293.15 \\ U|_{x=0} = 0 \\ U|_{x=a} = v \end{cases} \quad (2)$$

бічна поверхня нагрівача та віток термопар електрично ізолювана.

Дослідження термоперетворювача здійснювалось за допомогою комп'ютерного моделювання в середовищі COMSOL Multiphysics, розв'язання системи диференціальних рівнянь здійснювалось методом скінченних елементів.

У загальному керування розподілом температури відбувалось за рахунок оптимізації тепловідлення по довжині нагрівача. Результат був досягнутий нерівномірним розміщенням термопар удовж нагрівача, що призвело до нерівномірного відтоку тепла з центра нагрівача і його країв.

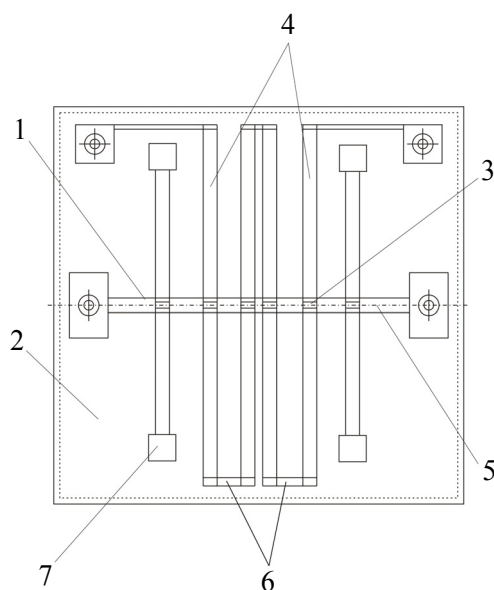


Рис. 1. Конструкція термоперетворювача з нерівномірним розташуванням термопар вздовж нагрівача 1 – нагрівач; 2 – корпус; 3 – гарячі спай термопар; 4 – вітки термопар; 5 – вісь симетрії нагрівача; 6 – холодні спай термопар.

Результати комп'ютерного дослідження

Метою комп'ютерного моделювання термоперетворювача було знаходження виду розподілу температури в нагрівачі термоперетворювачів різної конструкції. Зокрема у термоперетворювачі з нерівномірним розташуванням термопар вздовж нагрівача та з профільним нагрівачем.

Відомими величинами були: довжина і діаметр нагрівача, довжина і площа поперечного перерізу віток термопари, електропровідності і коефіцієнти теплопровідності матеріалів нагрівача і термопари, коефіцієнти термоЕРС матеріалів термопари, номінальний струм. Потрібно було отримати графічний вигляд розподілу температури в перетворювачі.

Результати подані у вигляді графіка розподілу температури (рис. 2).

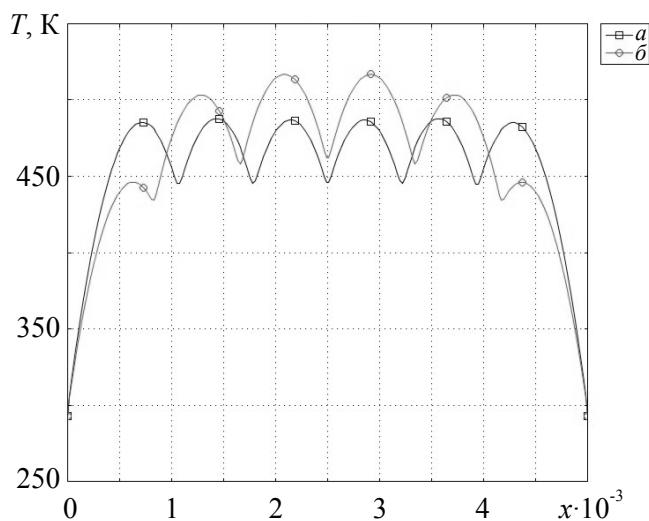


Рис. 2. Розподіл температури у нагрівачі оптимізованого (а) і не оптимізованого (б) термоперетворювача.

Як видно із графіка, оптимізація термоперетворювача описаним вище способом дає можливість мінімізувати градієнти температури між точками контакту нагрівача і спаїв термопар.

Окрім геометричних параметрів, на вид розподілу температури також впливає відношення теплових опорів нагрівача і термопари. Для отримання найкращих результатів значення відношення опору нагрівача (R_H) до опору термопари (R_T), K повинно знаходитись у діапазоні 0.35 – 0.5. Якщо $K < 0.35$, то загальний вид розподілу температури в нагрівачі буде зберігатись у вигляді параболи, при цьому на точність перетворення буде суттєво впливати ефект Томсона. Якщо $K > 0.5$, то вдасться мінімізувати вплив ефекту Томсона на точність перетворення, але при цьому значно знизиться потужність сигналу термопари і зросте величина перегріву нагрівача відносно спаїв термопари, що призведе до зменшення здатності до перевантаження термоперетворювача.

Висновки

- Розроблено методи керування і оптимізації температурних розподілів у перетворювачах з невеликою кількістю термопар (до 7 шт.), виготовлених з напівпровідникових матеріалів підвищеної термоефективності.
- Комп'ютерним моделюванням знайдено оптимальний розподіл температури нагрівника, що має теплові контакти з термобатареєю з числом термопар 3 – 7 шт.
- Встановлено, що для отримання оптимального результату відношення опору нагрівача (R_H) до опору термопари (R_T), K має знаходитись у діапазоні 0.35 – 0.5.

Література

1. Cees J. van Mullem, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 48(2), (1999).
2. Cees J. van Mullem, Willemien J.G.D. Janssen, and Jan P. M. de Vreede, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 46(2), (1997).
3. M. Gaitan, J.R. Kinard, D.-X. Huang, *Proc. IEEE Instrum./Meas. Techn. Conference* (Irvine, CA, 1993), p.243-244.
4. Боднарук В.И. О температурной стабильности свойств полупроводниковых термоэлектрических материалов / В.И. Боднарук // ФТП. – 1978. – №5. – С. 977 – 979.
5. F.L. Hermach, *J. Res. Nat. Bur. Stand* 48(2), 121-138 (1952).
6. F.M. Gay, Patent 1072811 (Great Britain). – Publ. 21.06.67.
7. О возможности управления температурной зависимостью параметров термоэлектрических преобразователей / Л.И. Анатычук, В.И. Боднарук, В.Т. Димитрашук [и др.] // ИФЖ. – 1976. – №2. – С. 300 – 305.
8. Анатычук Л.И., Андрусак С.А., Боднарук В.И., Готра З.Ю., *Измерительные преобразователи переменного напряжения в постоянное. Секция 2. Тезисы докл. Всесоюз. науч. тех. сим. "Вопросы теории и проектирования аналоговых измерительных преобразователей параметров электрических сигналов и цепей"*, Ульяновск. – 1978. – С. 37 – 38.
9. Анализ тепловых условий работы дифференциальных полупроводниковых преобразователей / Л.И. Анатычук, С.А. Андрусак, В.И. Боднарук [и др.] // Радиодетали и радиокомпоненты. – 1978. – Вып. 4 (29). — С. 72 – 77.

Надійшла до редакції 10.09.2012.