



3 Голицин М.В., Голицин А.М., Пронина Н.В. Альтернативні енергоносії. – М.: Наука, 2004. – 159 с.

4 The World Wind Energy Association: 2011 Report. WWEA, 2012.– <http://www.wwindea.org/>.

Статья отправлена: 05.04.2017 г.

© Глухов О.А., Разінков О.В.

ЦИТ: ua117-107

DOI: 10.21893/2415-7538.2016-05-1-107

УДК 621.382.53

Даналакій О. Г.<sup>1</sup>, Хабюк С. Я.<sup>2</sup>

## ОХОЛОДЖУВАЧА ІЗ СКЛАДЕНИМИ ГІЛКАМИ

<sup>1</sup>Национальный технический университет «ХПИ»

Черновицкий факультет, г. Черновцы, Украина

<sup>2</sup>Національний університет "Львівська політехніка"

Danalakyi O.G., Khabiuk A.Y.

## COOLER WITH COMPOUND BRANCHES

*Chernivtsi faculty National technical University "Kharkiv politechnical Institute",  
Chernivtsi, Ukraine.*

*Аннотація. Досліджено роботу термоелектричного охолоджувача, який складається з основного і допоміжного термоелементів з погляду холодильного коефіцієнта.*

*Ключеві слова: термоелемент, терморпара, провідності, термоелектричний охолоджувач.*

*Abstract. The work of the thermoelectric cooler which consists of the main and auxiliary elements from the point of view of the cooler factor has been investigated. The dependence of cooler factor on temperature difference has been found. It comes from obtained numerical data the cooler factor has a little value therefore the given cooler can be used for cooling microelectronic devices which produce a little heat by working.*

*Key words: thermo-couple, thermocouple, to conductivity, thermo-electric cooler.*

**Вступлення.** Термоелектричні охолоджуючі пристрої ефективно використовуються для пониження або стабілізації робочої температури різного роду мікросенсорів та інших мікроелектронних приладів.

В найбільш поширених охолоджувачах основним елементом є напівпровідниковий терморпарний елемент, за допомогою якого можна досягти максимальний перепад температури, що визначається параметром термоелектричної ефективності, температурою термостата та величиною оптимального струму. Для досягнення додаткового охолодження використовують методи каскадування [1,2]. Каскадовані охолоджувачі це громіздкі за конструкцією пристрої, які утримують значну кількість комутаційних елементів, керамічних прошарків та паяних контактів, що приводить до ряду недоліків.



Паяні контакти впливають на термоелектричні характеристики приладів, а керамічні прошарки на їх теплові процеси. Можна вказати також на вплив матеріалів припоїв і флюсів, які використовуються при збиранні термобатарей, а також на значну трудомісткість виготовлення таких приладів.

Указані недоліки каскадованих термоелектричних охолоджувачів спонукають до пошуків можливостей їх заміни більш простими за конструкцією термоохолоджувачами.

Метою роботи є дослідження термоелектричного охолоджувача, який складається з основного та допоміжного термоелементів і який за деякими характеристиками не поступається двокаскадному термоелектричному охолоджувачу.

Розглядуваний охолоджувач являє собою пристрій, який зображений на рис.1. Він складається з двох термоелементів—основного (на рис.1 зліва) і допоміжного (на рис.1 справа). Кожна з гілок  $n$ - і  $p$ - типу провідності основного термоелемента поділена на дві частини:  $n$ -гілка на частини  $2n$  і  $3n$ , а  $p$ -гілка – на  $2p$  і  $3p$ . Між частинами  $2n$  і  $3n$  і, відповідно,  $2p$  і  $3p$  вставлені металічні пластини 8, які через теплопровідний керамічний прошарок 7 з'єднані з комутаційною перемичкою 5 допоміжного термоелемента, гілки якого позначено  $1n$  і  $1p$ .

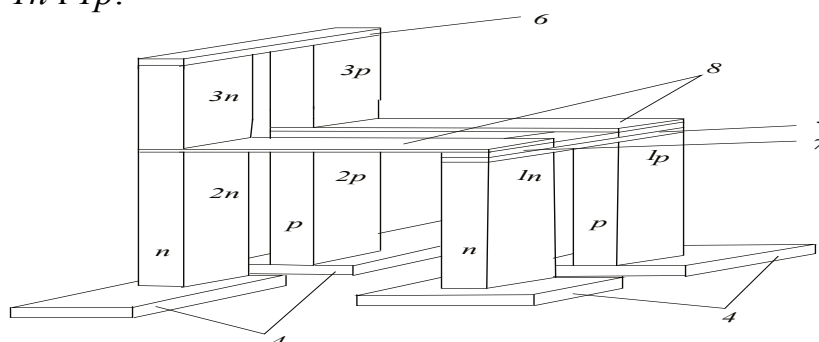


Рис.1. Схема охолоджувача із складеними гілками.

Цифрою 6 позначено комутаційну перемичку основного термоелемента. Охолоджувач працює таким чином. Через термоелементи пропускаються струми, які внаслідок дії ефекту Пельтьє охолоджують перемички 5 і 6. Відпрацьоване в частинах гілок основного термоелемента  $3n$  і  $3p$  тепло скидається в термостат 4 не лише через частини гілок  $2n$  і  $2p$ , але і через металічні пластини 8 на холодну пластину 5 допоміжного термоелемента, що є тепловим навантаженням допоміжного термоелемента. Завдяки такому перерозподілу відпрацьованого тепла глибина охолодження основного термоелемента значно збільшується.

На рис. 2 дана схема  $n$  –половини охолоджувача, що складається з гілки допоміжного термоелемента і гілки, складеної з частин  $2n$  і  $3n$  основного термоелемента. Друга половина являє собою аналогічну конструкцію з термоелектрика  $p$ -типу. Ці половини з'єднуються між собою комутаційними перемичками 5 (верхні торці гілок  $1n$  і  $1p$ ) і 6 (верхні торці областей  $3n$  і  $3p$ ). У цьому випадку можна вважати, що струм і температура одновимірні, тобто можна вважати, що струм постійний, а температура залежить лише від



координати  $x$ .

Струмопідводи 4 термостатовано при температурі  $T_0$ . Нехай перемички 6 і 8 мають температури  $T_L$  і  $T_l$ , відповідно, а  $I_1$  і  $I_2$  – струми вздовж гілок. Розрахунок розподілів температур в областях 1, 2, 3 за умови постійності кінетичних коефіцієнтів зроблено в праці [3], в якій досліджено описаний термоелектричний охолоджувач з погляду максимального зниження температури.

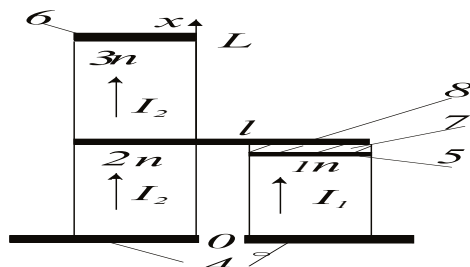


Рис. 2. n-половина охолоджувача.

Розподіли температур в частинах 1–3 мають вигляд [3]:

$$T_{1i} = \frac{\rho_{1i} J_{1i}^2}{2\chi_{1i}} x(l-x) + \frac{T_l - T_0}{l} x + T_0,$$

$$T_{2i} = \frac{\rho_{2i} J_{2i}^2}{2\chi_{2i}} x(l-x) + \frac{T_l - T_0}{l} x + T_0,$$

$$T_{3i} = \frac{\rho_{2i} J_{2i}^2}{2\chi_{2i}} x(L+l-x) + \frac{T_L - T_l}{L-l} x - \frac{T_L l - T_l L}{L-l} - \frac{\rho_{2i} J_{2i}^2}{2\chi_{2i}} Ll,$$
(1)

де  $i = n$  або  $p$  і означає тип провідності матеріалів гілок, а перша цифра в індексах означає номер області (рис.2);  $T_0$  – температура термостатованих струмопідводів 4;  $T_l$  – температура верхніх частин областей 1 і 2 з координатою  $x=l$ ;  $T_L$  – температура верхніх торців областей 3 з координатою  $x=L$ . Товщинами комутаційних елементів 5, 7, 8 при розрахунках знехтовано.

Далі прийнято, що  $\rho_{1i} = \rho_{2i} = \rho_{3i} = \rho_i$ ,  $\chi_{1i} = \chi_{2i} = \chi_{3i} = \chi_i$ .

Вважаючи, що поперечні перерізи областей 2 і 3 однакові, у відповідності з визначеннями запишемо вирази для холодопродуктивності і теплопродуктивності:

$$Q_L = -\chi_{2n} \left. \frac{dT_{3n}}{dx} \right|_{x=L} S_{2n} - \chi_{2p} \left. \frac{dT_{3p}}{dx} \right|_{x=L} S_{2p} + \Delta\alpha T_L I_2,$$

$$Q_0 = \chi_{2n} \left. \frac{dT_{2n}}{dx} \right|_{x=0} S_{2n} + \chi_{2p} \left. \frac{dT_{2p}}{dx} \right|_{x=0} S_{2p} + \chi_{1n} \left. \frac{dT_{1n}}{dx} \right|_{x=0} S_{1n} + \chi_{1p} \left. \frac{dT_{1p}}{dx} \right|_{x=0} S_{1p} + \Delta\alpha T_0 (I_1 + I_2).$$

Врахуємо далі залежності питомої теплопровідності і термоЕРС від температури так, як це зроблено в [3], тобто вважатимемо, що питомі теплопровідності і термоЕРС у виразах для  $Q_L$  і  $Q_0$  лінійно залежать від температури, а в розподілах температури (1) кінетичні коефіцієнти виражаються через їх середні значення. Матимемо:



$$Q_L = (\chi_{0n} + \chi_{1n}T_L) \frac{dT_{3n}}{dx} \Big|_{x=L} S_{2n} + (\chi_{0p} + \chi_{1p}T_L) \frac{dT_{3p}}{dx} \Big|_{x=L} S_{2p} + (\alpha_{0p} - \alpha_{0n} + (\alpha_{1p} - \alpha_{1n})T_L) T_L I_2,$$

$$Q_0 = (\chi_{0n} + \chi_{1n}T_0) \frac{dT_{2n}}{dx} \Big|_{x=0} S_{2n} + (\chi_{0p} + \chi_{1p}T_0) \frac{dT_{2p}}{dx} \Big|_{x=0} S_{2p} + (\chi_{0n} + \chi_{1n}T_0) \frac{dT_{1n}}{dx} \Big|_{x=0} S_{1n} +$$

$$+ (\chi_{0n} + \chi_{1p}T_0) \frac{dT_{1p}}{dx} \Big|_{x=0} S_{1p} - (\alpha_{0p} - \alpha_{0n} + (\alpha_{1p} - \alpha_{1n})T_0) T_0 (I_1 + I_2).$$

За визначенням холодильний коефіцієнт  $\varepsilon$  представляється формулою

$$\varepsilon = \frac{Q_L}{Q_0 - Q_L}. \quad (2)$$

Похідні  $dT_{ki}/dx$  на границях  $x=L$  і  $x=l$  обчислюються за допомогою виразів (1). З експериментальних залежностей кінетичних коефіцієнтів від температури було знайдено:  $\chi_{0n} = 2.6 \cdot 10^{-2} \text{ Вм}/(\text{К} \cdot \text{см})$ ,  $\chi_{0p} = 2.45 \cdot 10^{-2} \text{ Вм}/(\text{К} \cdot \text{см})$ ,  $\chi_{1n} = -0.37 \cdot 10^{-4} \text{ Вм}/(\text{К}^2 \cdot \text{см})$ ,  $\chi_{1p} = -0.35 \cdot 10^{-4} \text{ Вм}/(\text{К}^2 \cdot \text{см})$ ,  $\alpha_{0n} = -1.1 \cdot 10^{-4} \text{ В}/\text{К}$ ,  $\alpha_{0p} = 0.59 \cdot 10^{-4} \text{ В}/\text{К}$ ,  $\alpha_{1n} = -0.3 \cdot 10^{-6} \text{ В}/\text{К}^2$ ,  $\alpha_{1p} = -0.47 \cdot 10^{-6} \text{ В}/\text{К}^2$ . Далі прийнято  $S_{2n} = S_{2p} = S_2$ ,  $S_{1n} = S_{1p} = S_1$ . Для числових розрахунків взято такі середні значення теплопровідності та питомого електричного опору:  $\chi = 1.6 \cdot 10^{-2} \text{ Вм}/(\text{см} \cdot \text{К})$ ,  $\rho = 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ . Розмірні константи вибрано такими:  $L=0.5 \text{ см}$ ,  $l=0.2 \text{ см}$ ,  $S_1 = 0.06 \text{ см}^2$ ,  $S_2 = 0.02 \text{ см}^2$ . Температура термостата  $T_0 = 300 \text{ К}$ .

З урахуванням викладеного вирази  $Q_L$  і  $Q_0$  мають такий вигляд

$$Q_L = -\frac{1}{2} r_3 \frac{\chi_{0n} + \chi_{0p} + (\chi_{1n} + \chi_{1p})T_L}{\chi} I_2^2 - \frac{\chi_{0n} + \chi_{0p} + (\chi_{1n} + \chi_{1p})T_L}{L-l} S_2 (T_l - T_L) +$$

$$+ (\alpha_{0p} - \alpha_{0n} + (\alpha_{1p} - \alpha_{1n})T_L) T_L I_2,$$

$$Q_0 = \frac{1}{2} r_2 \frac{\chi_{0n} + \chi_{0p} + (\chi_{1n} + \chi_{1p})T_0}{\chi} I_2^2 + \frac{1}{2} r_1 \frac{\chi_{0n} + \chi_{0p} + (\chi_{1n} + \chi_{1p})T_0}{\chi} I_1^2 +$$

$$+ \frac{\chi_{0n} + \chi_{0p} + (\chi_{1n} + \chi_{1p})T_0}{l} (S_1 + S_2) (T_l - T_0) - (\alpha_{0p} - \alpha_{0n} + (\alpha_{1p} - \alpha_{1n})T_0) T_0 (I_1 + I_2).$$

де  $r_1 = \rho l / S_1$ ,  $r_2 = \rho l / S_2$ ,  $r_3 = \rho (L-l) / S_2$  - електричні опори частин 1, 2 і 3 відповідно.

При розрахунках використано також умову каскадування, яка виражає собою той факт, що відпрацьоване тепло, яке виділяється на нижніх торцях верхньої частини охолоджувача ( $x=l$  область 3) є тепловим навантаженням його нижньої частини (області 1 і 2 в точці  $x=l$ ).

Нижче (рис.3,4) наведено результати числових розрахунків холодильного коефіцієнта  $\varepsilon$  в залежності від величин струмів  $I_1$  і  $I_2$ , а також температури  $T_L$ . Розрахунки проведено за допомогою пакета комп'ютерних програм *Maple*.

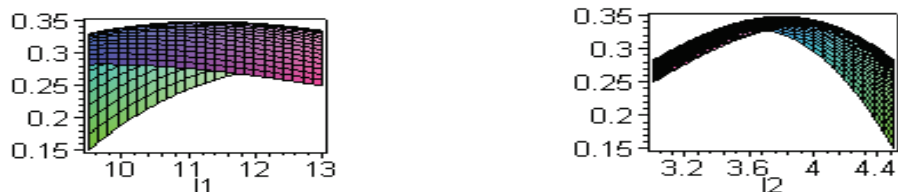


Рис. 3. Залежність холодильного коефіцієнта  $\varepsilon$  від величин струмів  $I_1$  і  $I_2$  при  $T_L = 290\text{ K}$ .

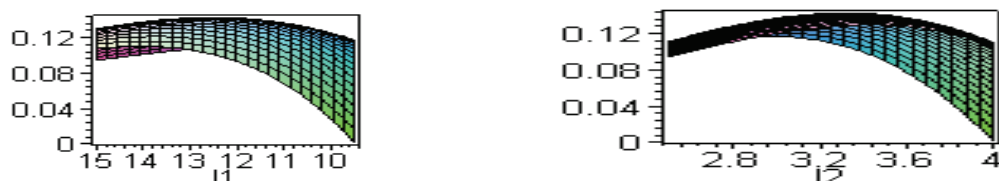


Рис. 4. Залежність холодильного коефіцієнта  $\varepsilon$  від величин струмів  $I_1$  і  $I_2$  при  $T_L = 280\text{ K}$ .

З наведених графіків видно, що величини оптимальних струмів  $I_1$  та  $I_2$ , якими визначається максимум холодильного коефіцієнта, суттєво залежать від температури  $T_L$ . Причому, чим вища температура  $T_L$ , тим більший холодильний коефіцієнт. При цьому струми такі, що  $I_1$  зі зменшенням температури зростає, а  $I_2$  - спадає. Холодильний коефіцієнт з пониженням температури спадає і при  $T_L = 260\text{ K}$  практично дорівнює нулю. Нижче наведено таблицю залежності холодильного коефіцієнта дослідженого охолоджувача  $\varepsilon$  та холодильного коефіцієнта стандартного напівпровідникового термоелемента  $\varepsilon_{TE}$  від перепаду температури  $\Delta T$ , з якої видно, що указаний холодильний коефіцієнт  $\varepsilon$  з ростом перепаду температури спадає і порівняно з  $\varepsilon_{TE}$  складає малу величину.

Таблиця 1

$\varepsilon$	0.35	0.13	0.045	0.005
$\varepsilon_{TE}$	7.6	1.45	0.78	0.44
$\Delta T = T_0 - T_L$	10	20	30	40

Отже можна стверджувати, що досліджений термоелектричний охолоджувач володіє малим холодильним коефіцієнтом і, тому, може ефективно використовуватись лише для охолодження об'єктів, які виділяють мало тепла. З порівняння даного термоелектричного охолоджувача з стандартним двокаскадним охолоджувачем [2] можна зробити також висновок про те, що він є дещо простішим в конструктивному і технологічному відношеннях.

### Висновки

Термоелектричний охолоджувач, який складається з основного і



допоміжного термоелементів в технологічному і конструктивному відношенні простіший ніж стандартний термоелектричний двокаскадований охолоджувач. Він може використовуватись для охолодження або стабілізації температури різного роду мікроелектронних пристроїв, які при роботі виділяють мало тепла.

### Література

1. Иоффе А.Ф. Полупроводниковые термоэлементы.- М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960.- 188 с.
2. Вайнер А.Л. Каскадные термоэлектрические источники холода. М.: Советское радио, 1990. -137 с.
3. Охрем В.Г. Термоелектричний охолоджувач із складеними гілками для глибокого охолодження // Термоелектрика, № 1, 2005

Рецензент д.т.н., проф., Ащеулов А.А.

ЦИТ: ua117-002

DOI: 10.21893/2415-7538.2016-05-1-002

УДК 681.3.06

Турко С.А.

### РАЗРАБОТКА ТЕСТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ УСТРОЙСТВ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЗМОВ

*Ставропольский институт кооперации (филиал) БУКЭП,  
Ставрополь, Голенева 36, 355035*

Turko S.A.

### DEVELOPMENT TESTS TO IMPROVE THE ACCURACY OF DIAGNOSIS DEVICE TECHNICAL STATE MECHANISMS

*Stavropol Institute of Cooperatives (branch) BUKER,  
Stavropol, Goleneva 36, 355035*

*Аннотация. В данной работе проанализированы подходы к совершенствованию унифицированного инструментария с целью совершенствования методологии разработки тестов для устройств диагностики технического состояния механизмов.*

*Ключевые слова: тестирование, функции, аппаратные средства, инструменты тестирования, цифровые устройства.*

*Abstract. In this paper we analyzed the approaches to improve the standardized toolkit for the purpose of improving the methodology for the development of diagnostic tests for devices technical condition of machinery.*

*Key words: testing, functions, hardware, test tools, digital devices.*

### Вступлення.

Технологія UniTESK (от англ. unified specification and testing tool kit – унифицированный инструментарий для спецификации и тестирования) разработана в Институте системного программирования РАН [1]. В отличие от AVM и OVM, созданных в коммерческих организациях, UniTESK является академической разработкой, которая, тем не менее, основана на реальном опыте тестирования программного и аппаратного обеспечения [2].