

ОПТИМИЗИРАНЕ НА ТЕРМИЧНОТО СЪПРОТИВЛЕНИЕ НА ОХЛАЖДАЩ РАДИАТОР В ТЕРМОЕЛЕКТРИЧЕСКА ПОМПА

Ивайло Беловски¹, Анатолий Александров²

¹Университет „Проф. д-р Асен Златаров”

²Технически Университет - Габрово

OPTIMIZING HEAT SINK THERMAL RESISTANCE IN A THERMOELECTRIC PUMP

Ivaylo Belovski¹, Anatoliy Alaksandrov²

¹Prof. D-r Asen Zlatarov University

²Technical University of Gabrovo

Abstract

The tendency of increasing the power of the semiconductor elements and modules is making it more and more difficult to their efficient cooling. As a result there are an increasing number of electronic components, devices and systems that require the use of forced convection air cooling to control their operating temperature.

Thermoelectric cooling systems, using the Peltier effect in their work, have been increasingly used in recent years. The basic unit is the thermoelectric pump into which a thermoelectric Peltier module is integrated. For the normal operation of the Peltier module it is necessary to ensure effective heat transfer between the hot side and the air. For this purpose appropriate heat sink and fan for the hot side are used.

In these systems, it is very important to choose and use both a suitable heat-conductive filling agent and a heat sink of suitable size and design.

The main purpose of this paper is to propose a series of equations for estimating parallel plate-fin heat sink thermal resistance. For purposes of illustration these equations were used to estimate heat sink thermal resistance for an aluminum heat sink.

Keywords: thermal resistance, heat sink, thermoelectric pump.

ВЪВЕДЕНИЕ

Термоелектрическите охлаждащи системи, използващи при работата си ефекта на Пелтие, намират все по-широко приложение през последните десетилетия – както в космическата и военната техника, така и в бита [1, 2].

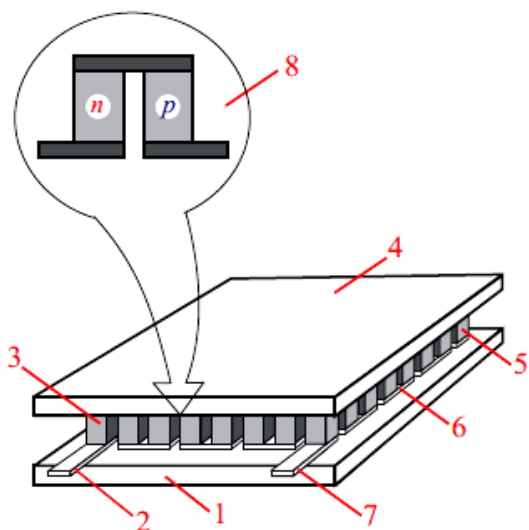
Техен основен възел е термоелектрическата помпа, в която е вграден модул на Пелтие. Това е твърдотелен модул, представляващ две керамични плочи, между които са разположени последователно свързани термоелементи (термодвойки) от полупроводници с различен тип проводимост, съединени в единия си край с метална шина – фиг. 1. При работата си, те директно кон-

вертират електрическата мощност в температурна разлика [3, 4].

За по-ефективно отвеждане и разсейване на отделената от горещата страна на модула топлинна мощност се използва радиатор и вентилатор – фиг. 2.

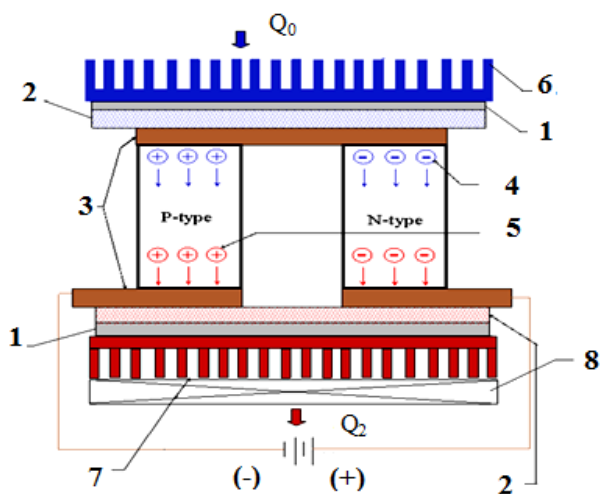
Особено важно е в конструкцията на термоелектрическата помпа да се избере и използва както подходяща термопроводяща паста [5], така и радиатор с подходящи размери и дизайн.

Основната цел на тази статия е да предложи методика за оптимално оразмеряване на един от най-често използваните в термоелектрическите помпи алуминиев радиатор – с паралелно разположени плочи.



Фиг. 1. Термоелектрически модул
1, 4 – керамични плочи; 3, 5 – полупроводници
с P и N тип проводимост; 6 – съединителна
пластина; 2, 7 – електрически изводи;
8 – термоелемент.

Направена е верификация на представените математически изрази, а получените резултати са представени в графичен вид.



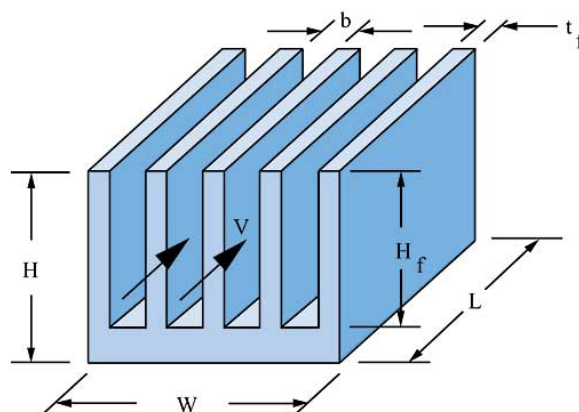
Фиг. 2 Термоелектрическа помпа:
1 – термопроводяща паста; 2 – керамични
плочи; 3 – метални пластини; 4 – електрони;
5 – дупки; 6 – студен радиатор;
7 – горещ радиатор; 8 – вентилатор

ИЗЛОЖЕНИЕ

Тенденцията на увеличаване на мощността на полупроводниковите елементи и модули прави все по-трудна задачата за тяхното ефективно охлаждане. Все по-го-

лям брой електронни компоненти изискват използването на въздушно охлаждане с принудителна конвекция, за да се контролира работната им температура. Към тази група компоненти спадат и термоелектрическите модули (ТЕМ) на Пелтие, за чиято ефективна работа е нужно отвеждане и разсейване на отделената топлинна мощност.

В компютърната и електронната техника най-широко приложение за охлаждане е намерил алуминиевия радиатор с паралелно разположени плочи – фиг. 3. Имено за оразмеряването такъв тип радиатори е предложена по-долу методика.



Фиг. 3 Общ вид на радиатор с паралелно разположени плочи: H – височина на радиатора; H_f – височина на ребрата; W – ширина на радиатора; L – дължина на радиатора; b – разстояние между плочите; t_f – ширина на плочите; V – скорост на въздушния поток между плочите

За да се избере подходящия радиатор за конкретен ТЕМ, е необходимо да се определи максимално допустимото му термично съпротивление $R_{max}, ^\circ C/W$. За тази цел, трябва да са известни също и максимално допустимата температура на горещата страна на ТЕМ - $T_h, ^\circ C$; разсейваната мощност от ТЕМ - P_{TEM}, W и термичното съпротивление на използваната термопроводяща паста между ТЕМ и радиатора - $R_{int}, ^\circ C/W$. Максимално допустимата температура на работната повърхност на ТЕМ - T_{base} , контактуваща с радиатора се определя с израза [6]:

$$T_{base} = T_h - P_{TEM} \cdot R_{int} \quad (1)$$

R_{max} се определя с израза:

$$R_{\max} = \frac{T_{\text{base}} - T_{\text{air}}}{P_{\text{TEM}}}, \quad (2)$$

където T_{air} , °C е температурата на въздуха, движещ се между плочите на радиатора.

За по-ефективно отвеждане на отделената от ТЕМ топлинна мощност е необходимо да се подбере радиатор с термично съпротивление $R_{hs} < R_{\max}$.

$$R_{hs} = \frac{1}{h \cdot (A_{\text{base}} + N_{\text{fin}} \cdot \eta_{\text{fin}} \cdot A_{\text{fin}})}, \quad (3)$$

където: h – коефициент на конвективен топлообмен; A_{base} – експонираната площ на основната повърхност между плочите, N_{fin} – броят на плочите, η_{fin} – ефективност на плочите, а A_{fin} – повърхностната на плочите, като се отчитат и двете страни.

За по-нататъшните изчисления е необходимо да се установи максималният допустим обем на охладителя по отношение на ширината W , височина H и дължина (по посока на въздушния поток) L . Също така е необходимо да се определи дебелината на плочата, t_{fin} (фиг. 3). Използвайки тези параметри, разстоянието b между плочите може да бъде определена от:

$$b = \frac{W - N_{\text{fin}} \cdot t_{\text{fin}}}{N_{\text{fin}} - 1} \quad (4)$$

Откритата площ на основата между плочите може да бъде определена от:

$$A_{\text{base}} = (N_{\text{fin}} - 1) \cdot b \cdot L, \quad (5)$$

а самата повърхност на плочите A_{fin} е:

$$A_{\text{fin}} = 2 \cdot H_f \cdot L \quad (6)$$

Необходимо е също да се определи скоростта на въздушния поток между плочите или по отношение на средната скорост V или по отношение на обемния дебит G . Ако се използва обема на въздушния поток, съответната скорост на въздуха между плочите е:

$$V = \frac{G}{N_{\text{fin}} \cdot b \cdot H_f} \quad (7)$$

За определяне на коефициента на топлопредаване, действащ върху плочите на радиатора, се използва уравнението: [7]

$$Nu_i = \left[\frac{1}{\left(\frac{Re \cdot Pr}{2} \right)^3} + \frac{1}{\left(0,66 \sqrt{Re} Pr^{1/3} \sqrt{1 + \frac{3,65}{\sqrt{Re}}} \right)^3} \right]^{-1/3} \quad (8)$$

където: Nu – коефициент на Нуселт (представява съотношението на интензивността на топлообмена за сметка на конвекцията към интензивността на топлообмена за сметка на топлопроводността); Re – коефициент на Рейнолдс; Pr – коефициент на Прандтл.

$$Pr = \frac{\mu c_p}{k}, \quad (9)$$

където: μ – динамичен вискозитет на въздуха; c_p – специфична температура на въздуха при постоянно налягане; k – коефициент на топлопроводност на въздуха.

$$Re = \frac{\rho V b}{\mu} \cdot \frac{b}{L}, \quad (10)$$

където: ρ – плътност на въздушния поток.

Използвайки израз (8), за коефициента на топлопредаване се получава:

$$h = Nu_i \cdot \frac{k}{b} \quad (11)$$

Коефициентът на ефективност на плочите на радиатора се дава с изказа:

$$\eta_{\text{fin}} = \frac{\tanh(m \cdot H_f)}{m \cdot H_f} \quad (12)$$

$$m = \sqrt{\frac{2h}{k_{\text{fin}} \cdot t_{\text{fin}}}}, \quad (13)$$

където K_{fin} – коефициент на топлопроводност на плочите (на Алюминия)

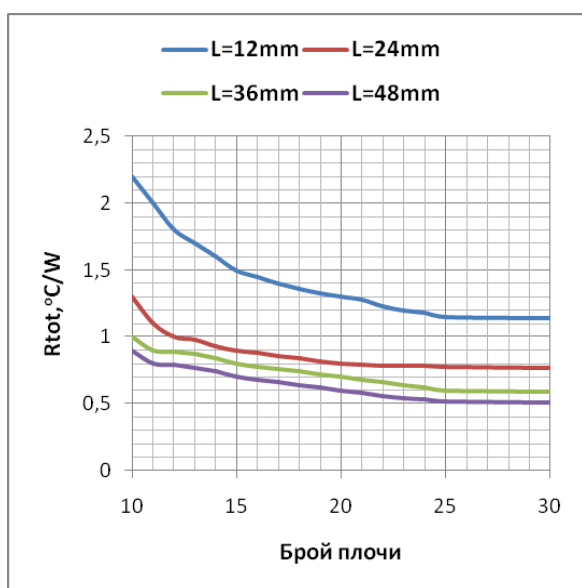
Чрез използването на уравненията (1) – (13) е възможно да се оцени топлинната

ефективност на радиатора. За да се получи пълното термично съпротивление на радиатора R_{tot} , трябва да се отчете и термичното съпротивление, което оказва самата основа на радиатора:

$$R_{tot} = R_{hs} + \frac{H - H_f}{k_{base} \cdot W \cdot L}, \quad (14)$$

където k_{base} - коефициент на топлопроводност на основата на радиатора.

За верифициране на гореописаните формули (за определяне на термичното съпротивление на радиатор), бяха направени изчисления за алуминиев радиатор с габаритни размери на основата $W = 50mm$ и $L = 50mm$, четири различни дължини и различен брой на паралелно разположените плочи, при постоянна скорост на въздушния поток $V=2,5 m/s$. Получените резултати са показани в графичен вид на фиг. 4.



Фиг. 4. Зависимост на термичното съпротивление R_{tot} от броя и дължината на плочите на алуминиев радиатор

От фигурата се вижда, че за намаляване на R_{tot} трябва да се увеличи или дължината или броя на плочите. Резултатите показват, че увеличаването на броя на плочите над 20

не води до чувствително намаление на термичното съпротивление.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Правилният подбор на охлаждащ радиатор е много важна част от проектирането на една термоелектрическа система. Грешните решения могат да доведат до значително понижение на ефективността на работа и к.п.д.

Предложената методика позволява на специалистите, чрез изчисления на термичното съпротивление R_{hs} и коефициента на топлопредаване h да оптимизират размера на охладителя, броя на използваните паралелни плочи и тяхната дължина и по този начин да постигнат максимална ефективност при работата на активния елемент - ТЕМ на Пелтие.

REFERENCE

- [1] Tritt T., M. Kanatzidis, H. Lyon, G. Mahan, Thermoelectric Materials – New Directions and Approaches, MRS, Pittsburgh, V.478, 1998
- [2] Шостваковский П., Современные решения термоелектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской, промышленной и бытовой техники, Силовая электроника, №12, 2009
- [3] Aleksandrov A. Poluprovodnikovii elementi I integralni shemi. Eks-pres, Gabrovo, 2012.
- [4] Belovski I. Thermoelectric Cooling System Modeling. Assen Zlatarov University Annual, Vol. XLV, book 1, 2016, 24-28.
- [5] Belovski, I., S. Sotirov, A. Alexandrov, N. Sotirov, Recognition of heat - conductive filling agents of a thermoelectric refrigeration system with Focused Time - Delay Neural Network, IEEEExplore, 2017, 166-169.
- [6] Simons R. Estimating parallel plate fin heat sink thermal resistance, Electronics cooling, 2015.
- [7] Teertstra, P., Yovanovich, M.M., and Culham, J.R. Analytical Forced Convection Modeling of Plate Fin Heat Sinks. Proceedings of 15th IEEE Semi-Therm Symposium, 1999, pp. 34-41.