

УДК 621.382.53

Холодильный коэффициент охладителя с составными ветвями

В. Г. Охрем

Национальный технический университет "ХПИ", Черновицкий факультет, г. Черновцы, Украина

Исследована работа термоэлектрического охладителя, который состоит из основного и вспомогательного термоэлементов с точки зрения холодильного коэффициента.

Общая характеристика проблемы и актуальность задачи

Термоэлектрические охлаждающие устройства эффективно используются для понижения или стабилизации рабочей температуры разного рода микросенсоров и микроэлектронных приборов.

В наиболее распространенных охладителях основным холодильным элементом является полупроводниковый термопарный элемент, с помощью которого можно получать максимальный перепад температуры, определяемый параметром термоэлектрической эффективности, температурой термостата и величиной оптимального тока. Для достижения более глубокого охлаждения используют методы каскадирования [1, 2]. Каскадированные охладители — это довольно громоздкие устройства, содержащие значительное число коммутационных элементов, керамических прослоек и паяных контактов, что приводит к ряду недостатков, которые побуждают к поискам возможностей их замены более простыми по конструкции термоохладителями.

Цель работы — исследование термоэлектрического охладителя, который состоит из основного и вспомогательного термоэлементов. С точки зрения глубины охлаждения он исследован в работе [3]. В настоящей работе этот охладитель исследуется с точки зрения холодильного коэффициента.

Рассмотренный в [3] охладитель представляет собой устройство, схема которого изображена на рис. 1. Он состоит из двух термоэлементов: основного (на рис. 1 слева) и вспомогательного (на рис. 1 справа). Каждая из ветвей n - и p -типа проводимости основного термоэлемента поделена на две части: n -ветвь на части $2n$ и $3n$, а p -ветвь — на $2p$ и $3p$. Между частями $2n$ и $3n$ и, соответственно, $2p$ и $3p$, вставлены металлические пластины 8, которые через теплопроводящую керамическую прослойку 7 соединены с коммутационной перемычкой 5 вспомогательного термоэлемента, ветви которого обозначены $1n$ и $1p$ (поз. 1). Цифрой 6 обозначена коммутационная перемычка основного термоэлемента.

Охладитель работает следующим образом. Через термоэлементы пропускают токи, которые

вследствие действия эффекта Пельтье охлаждают перемычки 5 и 6. Отработанное в частях ветвей основного термоэлемента $3n$ и $3p$ тепло сбрасывается в термостат 4 не только через части ветвей $2n$ и $2p$, но и через металлические пластины 8 на холодную пластину 5 вспомогательного термоэлемента, что является его тепловой нагрузкой. Благодаря такому перераспределению отработанного тепла глубина охлаждения (максимальный перепад температуры) основного термоэлемента значительно увеличивается.

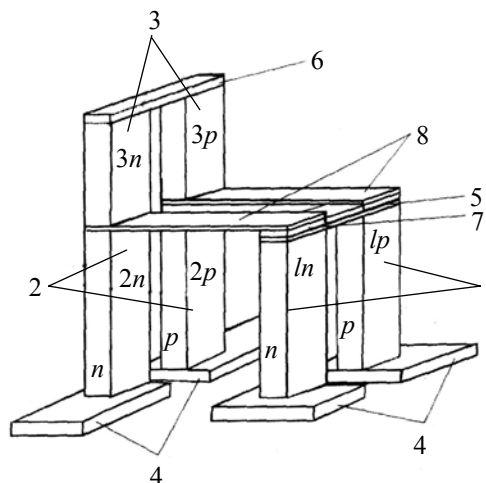


Рис. 1. Схема охладителя с составными ветвями

На рис. 2 дана схема n -половины охладителя, которая состоит из вспомогательного термоэлемента и ветви, составленной из частей $2n$ и $3n$ основного термоэлемента. Вторая половина представляет собой аналогичную конструкцию из термоэлектрика p -типа. Эти половины соединяются между собой коммутационными перемычками 5 (верхние торцы ветвей $1n$ и $1p$) и 6 (верхние торцы областей $3n$ и $3p$). В этом случае можно считать, что токи и температура одномерны, т. е. ток постоянный, а температура зависит лишь от координаты x .

Токоподводы 4 (см. рис. 2) термостатированы при температуре T_0 . Пусть перемычки 6 и 8 имеют температуру T_L и T_r , соответственно, а I_1 и I_2 — токи вдоль ветвей. Расчет распределений температур в областях 1—3 при условии постоянства кинетических коэффициентов приведен в работе [3],

в которой исследован описанный термоэлектрический охладитель с точки зрения максимального снижения температуры (глубины охлаждения).

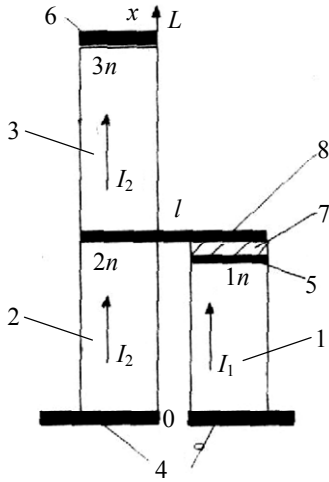


Рис. 2. Схема n-половины охладителя

Распределения температур в частях 1—3 имеют вид [3]:

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

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

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

где $i = n$ или p и означает тип проводимости материалов ветвей, а первая цифра в индексах означает номер области (см. рис. 2);

T_0 — температура термостатированных токоподводов 4;

T_l — температура верхних частей областей 1 и 2 с координатой $x = l$;

T_L — температура верхних торцов областей 3 с координатой $x = L$.

Толщинами коммутационных элементов 5, 7, 8 в расчетах пренебрегали. Далее принято, что $\rho_{1i} = \rho_{2i} = \rho_{3i} = \rho_i$, $\chi_{1i} = \chi_{2i} = \chi_{3i} = \chi_i$.

Считая, что поперечные сечения областей 2 и 3 одинаковые, запишем выражения для холодопроизводительности и теплопроизводительности охладителя:

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

$$Q_0 = -\chi_{2n} \left. \frac{dT_{2n}}{dx} \right|_{x=0} S_{2n} - \chi_{2p} \left. \frac{dT_{2p}}{dx} \right|_{x=0} S_{2p} - \chi_{1n} \left. \frac{dT_{1n}}{dx} \right|_{x=0} \times$$

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

Подставив вместо температур их выражения по (1), получим:

$$Q_L = -\frac{1}{2} \left(\frac{\rho_n}{S_{2n}} + \frac{\rho_p}{S_{2p}} \right) I_2^2 (L-l) -$$

$$-(\chi_n S_{2n} + \chi_p S_{2p}) \frac{T_l - T_L}{L-l} + \Delta\alpha I_2 T_L;$$

$$Q_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{\rho_n}{S_{2n}} + \frac{\rho_p}{S_{2p}} \right) I_2^2 l + \frac{1}{2} \left(\frac{\rho_n}{S_{1n}} + \frac{\rho_p}{S_{1p}} \right) I_1^2 l -$$

$$-\frac{\chi_n S_{1n} + \chi_p S_{1p} + \chi_n S_{2n} + \chi_p S_{2p}}{l} (T_0 - T_l) + \Delta\alpha (I_1 + I_2) T_0.$$

По определению, холодильный коэффициент ε представляется формулой

$$\varepsilon = \frac{Q_L}{Q_0 - Q_L}.$$

Подставив вместо Q_0 и Q_L их выражения, получим

$$\varepsilon = \left[-\frac{1}{2} r_3 I_2^2 - k_3 (T_l - T_L) + \Delta\alpha T_L I_2 \right] / \left[\frac{1}{2} r_2 I_2^2 + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{2} r_1 I_1^2 + \frac{1}{2} r_3 I_2^2 - (k_1 + k_2) (T_0 - T_l) + k_3 (T_l - T_L) + (2) \right.$$

$$\left. + \Delta\alpha (I_1 + I_2) T_0 - \Delta\alpha I_2 T_L \right],$$

где

$$r_1 = \left(\frac{\rho_n}{S_{1n}} + \frac{\rho_p}{S_{1p}} \right) l, \quad r_2 = \left(\frac{\rho_n}{S_{2n}} + \frac{\rho_p}{S_{2p}} \right) l,$$

$$r_3 = \left(\frac{\rho_n}{S_{2n}} + \frac{\rho_p}{S_{2p}} \right) (L-l),$$

$$k_1 = \frac{\chi_n S_{1n} + \chi_p S_{1p}}{l}, \quad k_2 = \frac{\chi_n S_{2n} + \chi_p S_{2p}}{l},$$

$$k_3 = \frac{\chi_n S_{2n} + \chi_p S_{2p}}{L-l}$$

электрические сопротивления и теплопроводности частей 1, 2 и 3, соответственно.

Выражение (2) нужно рассматривать совместно с условием каскадирования, которое представим в виде

$$\frac{1}{2} r_1 I_1^2 + \frac{1}{2} r_2 I_2^2 + \frac{1}{2} r_3 I_2^2 + (k_1 + k_2) (T_0 - T_l) -$$

$$-\Delta\alpha I_1^2 T_l = k_3 (T_l - T_L),$$

откуда найдем

$$T_l = \frac{(k_1 + k_2) T_0 + k_3 T_L + \frac{1}{2} r_1 I_1^2 + \frac{1}{2} (r_2 + r_3) I_2^2}{k_1 + k_2 + k_3 + \Delta\alpha I_1}.$$

Ниже приведены результаты числовых расчетов холодильного коэффициента ε в зависимости от величин токов I_1 и I_2 , а также температуры T_L (рис. 3). Расчеты проведены с помощью компьютерной программы Maple, при этом выбраны следующие значения материальных констант: $\chi_n = \chi_p = 1,8 \cdot 10^{-2}$ Вт/(см·К); $\rho_n = \rho_p = 10^{-3}$ Ом·см; $\Delta\alpha = 4,4 \cdot 10^{-4}$ В/К. Размерные константы взяты такими: $L = 0,5$ см; $l = 0,2$ см; $S_{1n} = S_{1p} = 0,06$ см²; $S_{2n} = S_{2p} = 0,02$ см². Температура термостата $T_0 = 300$ К.

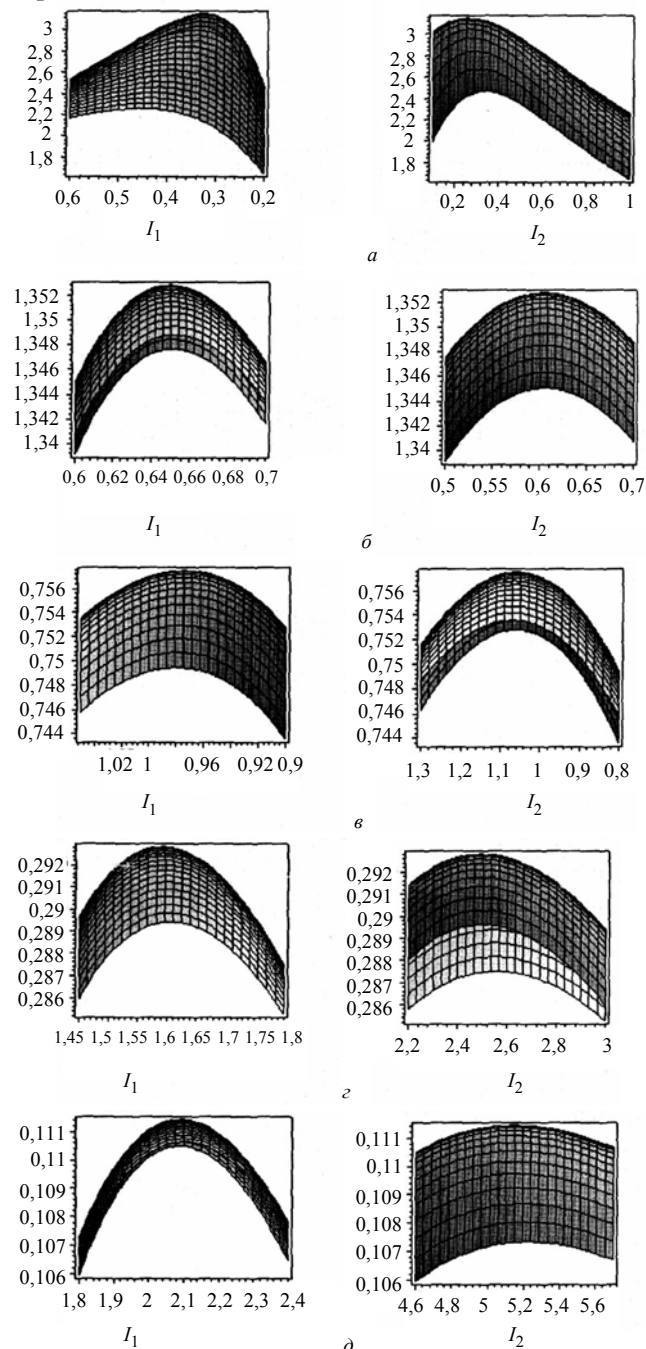


Рис. 3. Зависимость холодильного коэффициента ε (отн. ед.) от величин токов I_1 и I_2 при температурах:
 а — $T_L = 290$ К; б — $T_L = 280$ К; в — $T_L = 270$ К;
 з — $T_L = 250$ К; д — $T_L = 230$ К

Из приведенных графиков видно, что величины оптимальных токов I_1 и I_2 , которыми определяется максимум холодильного коэффициента, существенно зависят от температуры T_L . Причем, чем выше температура T_L , тем больше холодильный коэффициент и меньше указанные токи. Так, $\varepsilon = 3$ при $T_L = 290$ К, $\varepsilon = 0,11$ — при $T_L = 230$ К. Ниже приведены зависимости холодильного коэффициента от перепада температуры ΔT , из которых видно, что с ростом перепада температуры холодильный коэффициент падает.

ε	3,1	1,362	0,757	0,293	0,112
$\Delta T = T_0 - T_L$	10	20	30	50	70

Также видно, что холодильный коэффициент составляет небольшую величину. Это означает, что исследованный термоэлектрический охладитель имеет малую холодопроизводительность и поэтому может эффективно использоваться лишь для охлаждения объектов, которые выделяют мало тепла. Из сравнения данного термоэлектрического охладителя со стандартным двухкаскадным охладителем [2] можно сделать вывод о том, что он более прост в конструктивном и технологическом отношениях.

Выводы

Термоэлектрический охладитель, который состоит из основного и вспомогательного термоэлементов, в технологическом и конструктивном отношении проще, нежели стандартный термоэлектрический двухкаскадный охладитель. Он может использоваться для охлаждения или стабилизации температуры разного рода микроэлектронных устройств, которые при работе выделяют мало тепла.

Автор благодарен академику Л. И. Анатычуку и доктору физ.-мат. наук О. Я. Лустэ за помощь в составлении алгоритма задачи, дискуссии и замечаний.

Литература

1. Иоффе А. Ф. Полупроводниковые термоэлементы. — М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1960. — 188 с.
2. Вайнер А. Л. Каскадные термоэлектрические источники холода. — М.: Сов. радио, 1976. — 137 с.
3. Охрем В. Г. Новые термоэлектрические охладители Пельтье для глубокого охлаждения//Прикладная физика, 2006. № 4. С. 121—127.

Статья поступила в редакцию 30 ноября 2006 г.

The cooler factor of the cooler with compound branches

V. G. Okhrem

Chernivtsi faculty National Technical University "Kharkiv politechnical Institute", Chernivtsi, Ukraine

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.

УДК 621.384.3

Предельная чувствительность приемных устройств, содержащих CO₂-квантовый усилитель и смотрящий тепловизор

А. Н. Свиридов

ФГУП «НПО "Орион"» — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

Приведены расчеты предельных порогов чувствительности приемных устройств с CO₂-квантовыми усилителями (ПУ с КУ), предназначенных для лазерных локаторов и активных систем видения. При расчетах учитывались зависимости порогов чувствительности ПУ с КУ от параметров КУ, характеристик используемых в них приемников и методов (электрических или визуальных) регистрации сигналов.

Работа состоит из двух частей. В первой части*, опубликованной в работе [1], анализировались предельные параметры ПУ, содержащих CO₂-КУ и одноэлементный (квантовый или пироэлектрический) приемник излучения. Показана высокая эффективность применения квантовых усилителей при приеме слабых лазерных сигналов. Приемные устройства с квантовыми усилителями могут иметь в $10^3 \div 10^4$ более высокую чувствительность, чем чувствительность используемых в них приемников излучения. Их использование в активных лазерных системах позволит, соответственно, в $10^3 \div 10^4$ раза увеличить потенциал этих систем. Приемные устройства с КУ и одноэлементным приемником излучения перспективны для применения в лазерных локаторах. Эти ПУ работают с электронной регистрацией и обработкой электрических сигналов и предназначены для лазерных локаторов. Во второй (данной) части работы анализируются предельные параметры ПУ, содержащих импульсный CO₂-КУ и смотрящий тепловизор. Эти ПУ работают с визуальной регистрацией и обработкой информации и предназначены для наблюдения ИК-изображений объектов, облучаемых CO₂-лазером.

Приемные устройства с КУ и смотрящим тепловизором

Построим математическую модель ПУ с КУ и смотрящим тепловизором (т. е. тепловизором с двухмерной фокальной матрицей (ДФМ), пригодную для расчетов порогов чувствительности ПУ в зависимости от параметров КУ (коэффициента усиления, светосилы, эффективной ширины спектральной полосы усиления), характеристик матричного приемника, полосы усиления усилителей промежуточной частоты, подключенных к приемникам, и др.

Введем следующие обозначения:

h, k, σ, c, q — соответственно, постоянные Планка, Больцмана, Стефана-Больцмана, скорость света и заряд электрона;

λ, ν — длина волны и частота лазерного излучения, соответственно;

G — коэффициент усиления КУ;

p — суммарное давление смеси газов в КУ;

$\psi_{\text{CO}_2}, \psi_{\text{N}_2}, \psi_{\text{He}}$ — соответствующие доли газовых компонент в смеси;

T_g — температура газа в активной среде КУ;

$\Delta\nu_v$ — расстояние между соседними частотами излучения CO₂-лазера ($\Delta\nu_v = 53 \cdot 10^9$ Гц);

* Первая часть статьи опубликована в № 1, 2006 г.