



Тащук Д.Д.

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ

Тащук Д.Д.

(Институт термоэлектричества, ул. Науки, 1,  
Черновцы, 58029, Украина)

- 
- Построена компьютерная модель термоэлектрического измерительного преобразователя на основе термобатареи с малым числом термопар (3–5 шт.). Исследовано распределение температуры в нагревателе преобразователя с нелинейным расположением термопар вдоль нагревателя. Неравномерное размещение термопар вдоль нагревателя позволяет оптимизировать распределение температуры в нагревателе без применения большого числа термопар (30–60 шт.). Использование малого количества термопар позволяет уменьшить уровень шумов. Рассчитано оптимальное соотношение между тепловыми сопротивлениями термобатареи и нагревателя, при котором минимизируется действие эффекта Томсона, отношение теплового сопротивления нагревателя к тепловому сопротивлению термобатареи, должно находиться в диапазоне 0.35–0.5. Предложена конструкция термоэлектрического преобразователя с оптимизированным распределением температуры.

### Введение

Точность и надежность современных электроизмерительных приборов и установок для определения эффективного (действенного) значения переменного тока, напряжения, мощности и коэффициента мощности в широком диапазоне частот в значительной мере зависит от параметров и характеристик термоэлектрических преобразователей, которые лежат в основе построения этих приборов. Наивысшие метрологические и эксплуатационные характеристики достигнуты в полупроводниковых термоэлектрических измерительных преобразователях, которые являются элементной базой для создания эталонов единиц электрических величин во многих странах [1, 2, 3].

Перспективным направлением создания современных измерительных термопреобразователей является применение высокоэффективных полупроводниковых материалов оптимизированных по температурной стабильности основных параметров в соответствии с требованиями измерительной техники и метрологии [4]. Особые требования относительно точности преобразования ставятся перед термоэлектрическими измерительными преобразователями, которые применяются для построения национальных эталонов единиц электрического тока. Ведь актуальной является задача повышения точности термоэлектрических преобразователей метрологического назначения.

Действие эффекта Томсона приводит к нарушению симметрии в распределении температуры нагревателя и к смещению участка максимального нагрева в зависимости от направления тока через нагреватель.

Экспериментально доказано влияние эффекта Томсона на точность преобразования: для константовых нагревателей при токах 0.1; 0.5; 1.0 А погрешность составляет не меньше 0.06%, для нихрома и платина-иридия при токах 1; 2; 5; 10; 20; 50; 200 мА – не меньше 0.01%. Меньшая погрешность у преобразователей с нихромовым нагревателем, что достигается выбором материала, имеющего минимальный эффект Томсона. Наилучшие результаты получены для

нагревателей из манганина или платина-иридиевого сплава (85%Pt – 15%Ir); погрешность перехода от постоянного к переменному току в этих случаях не превышает 0.005% [5].

Иногда для уменьшения погрешности влияния эффекта Томсона используют проводник, который отводит электрический ток от участка, близкого к центру нагревателя. Этим с помощью шунтирующего сопротивления уменьшают мощность в той части нагревателя, где эффект Томсона приводит к избыточному нагреву [6].

Изменение параметров преобразователя в интервале температур обусловлено рядом причин, в первую очередь температурными зависимостями свойств материалов термопары и нагревателя, изменением условий теплообмена. Их влияние можно уменьшить, если в цепь термопары ввести элементы компенсации. Уменьшение погрешностей может быть достигнуто и соответствующим выбором материалов термопары и нагревателя [7, 8]. Температурные зависимости могут компенсироваться почти полностью и при использовании уравновешенных дифференциальных схем с двумя идентичными преобразователями [9].

В современных многоэлементных преобразователях, для получения надлежащего уровня сигнала и вида распределения температуры, используются термобатареи с большим числом термопар (30 – 60 шт.) [3]. Большое число термопар предопределяет увеличение сопротивления термобатареи, которая приводит к росту уровня шумов. Для уменьшения уровня шумов без уменьшения уровня сигнала, необходимо применять термобатареи с малым числом термопар из высокоэффективных полупроводниковых термоэлектрических материалов. Целью данной работы является исследование возможности оптимизации распределения температуры в нагревателе термопреобразователя с малым числом термопар.

### Теоретическая часть

Видом распределения температуры, а соответственно и величиной влияния эффекта Томсона, можно управлять с помощью геометрических параметров термопреобразователя. Для решения поставленной задачи, нами был разработан термопреобразователь, конструкция которого изображена на рис. 1.

Была построена физическая модель исследуемого термопреобразователя, для описания которой составлена система уравнений (1):

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

где  $I_i$  – ток,  $S_{in}$  – сечение,  $P_i$  – периметр  $i$ -того элемента преобразователя,  $\kappa_i$ ,  $\rho_i$ ,  $\gamma_i$ ,  $\xi_i$  – соответственно теплопроводность, удельное сопротивление, коэффициент теплообмена со средой, неполнота излучения,  $\sigma_0$  – постоянная Стефана-Больцмана.

Граничные условия имеют вид:

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

боковая поверхность нагревателя и веток термопар электрически изолированы.

Исследование термопреобразователя проводилось с помощью компьютерного моделирования в среде COMSOL Multiphysics, решение системы дифференциальных уравнений осуществлялось методом конечных элементов.

В общем, управление распределением температуры происходило за счет оптимизации

тепловыделения по длине нагревателя. Результат был достигнут неравномерным размещением термопар вдоль нагревателя, которое привело к неравномерному оттоку тепла с центра нагревателя и его краев.

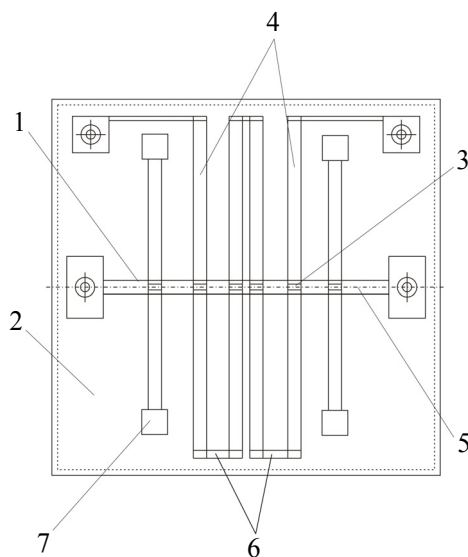


Рис. 1. Конструкция термопреобразователя с неравномерным расположением термопар вдоль нагревателя: 1 – нагреватель; 2 – корпус; 3 – горячие спаи термопар; 4 – ветви термопар; 5 – ось симметрии нагревателя; 6 – холодные спаи термопар.

## Результаты компьютерного моделирования

Целью компьютерного моделирования термопреобразователя было нахождение вида распределения температуры в нагревателе термопреобразователей разной конструкции, в частности, в термопреобразователе с неравномерным расположением термопар вдоль нагревателя и с профильным нагревателем.

Известными величинами были: длина и диаметр нагревателя, длина и площадь поперечного сечения ветвей термопары, электропроводности и коэффициенты теплопроводности материалов нагревателя и термопары, коэффициенты термоЭДС материалов термопары, номинальный ток. Нужно было получить графический вид распределения температуры в преобразователе.

Результаты представлены в виде графика распределения температуры (рис. 2).

Как видно из графика, оптимизация термопреобразователя описанным выше способом, позволяет минимизировать градиенты температуры между точками контакта нагревателя и спаев термопар.

Кроме геометрических параметров, на вид распределения температуры также влияет отношение тепловых сопротивлений нагревателя и термопары. Для получения наилучших результатов значения отношения сопротивления нагревателя к сопротивлению термопары, должно находиться в диапазоне  $K = 0.35 - 0.5$ . Если  $K < 0.35$ , то общий вид распределения температуры в нагревателе будет сохраняться в виде параболы, при этом на точность преобразования будет существенно влиять эффект Томсона. Если  $K > 0.5$  то удаётся минимизировать влияние эффекта Томсона на точность преобразования, но при этом значительно снизится мощность сигнала термопары и возрастет величина перегрева нагревателя относительно спаев термопары, который приведет к уменьшению способности к перегрузке термопреобразователя.

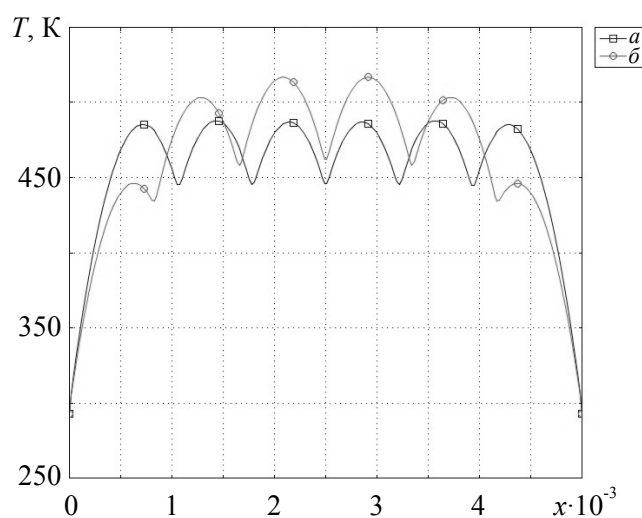


Рис. 2. Распределение температуры в нагревателе оптимизированного (а) и не оптимизированного (б) термопреобразователя.

### Выводы

1. Разработаны методы управления и оптимизации температурного распределения в преобразователях с небольшим количеством термопар (до 7 шт.), изготовленных из полупроводниковых материалов повышенной термоэффективности.
2. Компьютерным моделированием найдено оптимальное распределение температуры нагревателя, который имеет тепловые контакты с термобатареями с числом термопар 3 – 7 шт.
3. Установлено, что для получения оптимального результата, отношение сопротивления нагревателя к сопротивлению термопары, должно находиться в диапазоне 0.35 – 0.5.

### Литература

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.

Поступила в редакцию 10.09.2012.