

2. Ingruber B., Pritzl W., Smely D. et al. High-efficiency harmonic-control amplifier // *Ibid.* — 1998 — Vol. 46. — P. 857–862.

3. Martin A. L., Mortazawi A. A class-E power amplifier based on an extended resonance technique // *Ibid.* — 2000. — Vol. 48. — P. 93–97.

4. Ingruber B., Baumgartner J., Smely D. et al. Rectangularity driven class a harmonic-control amplifier // *Ibid.* — 1998. — Vol. 46. — P. 1667–1672.

5. Mader T. B., Bryerton E. W., Marcovic M. et al. Switched-mode high efficiency microwave power amplifier in a free-space power-combined array // *Ibid.* — 1998. — Vol. 46. — P. 1391–1398.

6. Radisic V., Qian Y., Itoh T. Novel architectures for high-efficiency amplifiers for wireless applications // *Ibid.* — 1998. — Vol. 46. — P. 1901–1909.

7. Krizhanovski V. G., Rudiakova A. N. The theory of power amplifiers with a polyharmonic operating // *MIKON-2000. XIII International conference of microwaves, radar and wireless communication.* — Wroclaw (Poland), May 22–24, 2000. — Conference proceedings, Vol. 1. — P. 105–108.

8. Радиопередающие устройства / М. А. Сиверс, Г. А. Зайтленюк, Ю. Б. Несвижский и др. — М. : Радио и связь, 1989.

9. Tyler V. J. A new high efficiency high power amplifier // *Marconi Rev.* — 1958. — Vol. 21. — P. 96–109.

10. Snider D. A theoretical analysis and experimental confirmation of the optimally loaded and overdriven RF power amplifier // *IEEE Trans. Electron Devices.* — 1967. — Vol. ED-14, N 6. — P. 851–857.

11. Krauss H., Bostian C., Raab F. Solid state radio engineering. — New-York : Wiley, 1980.

12. Sokal N. O., Sokal A. D. Class E — a new class of high-efficiency tuned single-ended switching power amplifiers // *IEEE J. Solid-State Circuits.* — 1975. — Vol. SC-10, N 6. — P. 168–176.

13. Крыжановский В. Г., Рассохина Ю. В. Расчет фильтра гармоник на прямоугольных диэлектрических резонаторах в МПЛ // *Мат-лы 9 междунар. Крымской конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии».* — Севастополь, 13–16 сент. 1999 г. — С. 254–255.

14. СВЧ-полупроводниковые приборы и их применение / Под ред. Г. Уотсона. — М. : Мир, 1972.

15. Кугушев А. М., Голубева Н. С. Основы радиоэлектроники. — М. : Энергия, 1969.

К. т. н. А. Г. ШАЙКО-ШАЙКОВСКИЙ,
д. т. н. А. А. АЩЕУЛОВ

Украина, Черновицкий гос. университет

Дата поступления в редакцию
28.06 2000 г.

Оппонент к. ф.-м. н. В. И. БОДНАРУК

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ БАТАРЕИ

Рассмотрено влияние разбросов геометрических и физико-механических параметров на значения собственных частот колебаний термоэлектрической батареи прибора.

При эксплуатации приборов на основе каскадных термоэлектрических батарей на наземных, воздушных или плавучих средствах очень важно, чтобы вынуждающие частоты колебаний носителя не совпадали с собственными частотами термоэлектрического узла прибора.

Рассмотрим устройство для проведения термоакупунктуры, работа которого основана на эффекте Пельтье и позволяет в зависимости от требований и медицинских показаний осуществлять нагрев либо охлаждение соответствующих участков кожи пациента [1].

Термоакупунктура может служить альтернативой механическому иглоукальванию после хирургического вмешательства и в других случаях, исключая нежелательное механическое воздействие на соответствующий участок тела [2].

Нагрев или охлаждение теплопроводящего зонда осуществляется соответствующей сменой полярности электрического тока через термоэлектрическую батарею. Длительность, конфигурация и величина тепловых импульсов на выходе прибора определяются законом изменения тока через термобатарею, обеспечивая работу прибора в статическом или динамическом режимах [3].

Основу конструкции устройства составляет двухкаскадная термоэлектрическая батарея из кристаллического теллурида висмута Bi_2Te_3 [4]. На верхнюю грань этой двухкаскадной батареи помещен игловидный теплопроводящий зонд с коническим основанием, предназначенный для воздействия на выбранную биологически активную точку или участок кожи (рис. 1).

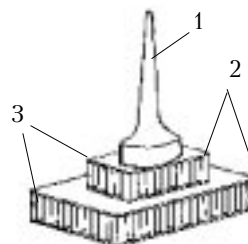


Рис. 1. Термоэлектрическая батарея с термозондом прибора для термоакупунктуры: 1 — термозонд; 2 — тепловые переходы; 3 — термоэлементы

Определим влияние на собственные частоты колебаний термоэлектрической батареи значений и разбросов величин модуля Юнга, а также демпфирующее воздействие слоев припоя по торцам термоэлемента.

Для определения собственных частот колебаний термоэлектрической батареи использована расчетная схема, представленная на рис. 2.

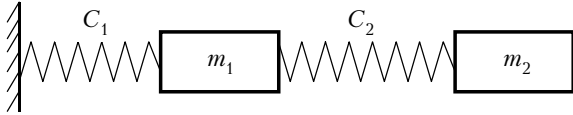


Рис. 2. Расчетная схема двухкаскадной термоэлектрической батареи:

C_1 – жесткость термоэлементов 1-го каскада; C_2 – жесткость термоэлементов 2-го каскада; m_1 – масса 1-го теплоперехода с коммутационными дорожками; m_2 – масса 2-го теплоперехода с коммутационными дорожками и термозондом

Узел, показанный на рис. 1 и 2, представляет собой систему с двумя степенями свободы. Собственная круговая частота колебаний такой системы определится по выражению [5, с. 527]

$$\omega_{1,2} = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{C_1 + C_2}{m_1} + \frac{C_2}{m_2} \right) \pm \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{C_1 + C_2}{m_1} + \frac{C_2}{m_2} \right)^2 - \frac{C_1 C_2}{m_1 m_2}}} \quad (1)$$

Учитывая, что в первом каскаде число термоэлементов n_1 , а во втором n_2 , получим выражение для определения C_1 и C_2 :

$$C_1 = n_1 E F / l_1; \quad C_2 = n_2 E F / l_2, \quad (2)$$

где E – модуль Юнга материала термоэлементов;
 F – площадь сечения каждого термоэлемента;
 l – длина термоэлемента;
 $n_1 = 102$;
 $n_2 = 18$.

Учитывая удельный вес и объем отдельных элементов конструкции, получим, что $m_1 = 40,656 \cdot 10^{-5}$ кг, $m_2 = 298 \cdot 10^{-5}$ кг. Необходимо учитывать, что величина модуля Юнга по длине монокристалла существенно изменяется в достаточно широком диапазоне значений ($E = (2 \dots 10) \cdot 10^{10}$ Па), что может значительно влиять на значения жесткости отдельных термоэлементов и всего каскада в целом. С учетом этого обстоятельства выражения (2) примут вид (i – номер каскада):

а) для определения жесткости в случае использования термоэлементов с номинальным значением модуля Юнга E_0 термоэлектрического материала –

$$C_0^i = n_i E_0 F_i / l_i; \quad (3)$$

б) при использовании термоэлементов, имеющих значение модуля Юнга на верхней границе возможного диапазона значений, –

$$C_{\max}^i = n_i E_{\max} F_i / l_i; \quad (4)$$

в) при использовании термоэлементов, имеющих значение модуля Юнга на нижней границе поля допусков, –

$$C_{\min}^i = n_i E_{\min} F_i / l_i. \quad (5)$$

Тогда, с учетом разбросов значений модуля Юнга термоэлектрического материала для каждого каскада, можно определить суммарную жесткость при условии, что при сборке каждого из каскадов используются термоэлементы с одинаковыми значениями физико-механических характеристик.

В реальных условиях при сборке изделий используются термоэлементы с физико-механическими характеристиками из всего диапазона разбросов модуля Юнга E , распределение величины действительных значений которого носит вероятностный характер. Однако конструктору важно оценить будущий возможный экстремальный диапазон характеристик изделия при самом неблагоприятном сочетании физико-механических характеристик материалов, используемых в производстве.

В табл. 1 содержатся расчетные экстремальные значения C_i для каждого каскада при учете изменения величины модуля Юнга в пределах приведенного выше диапазона.

Формулы для определения максимальных и минимальных значений собственных круговых частот изделия будут в этом случае иметь вид

$$\omega_{1,2}^{\max} = \quad (6)$$

$$= \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{C_1^{\max} + C_2^{\max}}{m_1} + \frac{C_2^{\max}}{m_2} \right) \pm \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{C_1^{\max} + C_2^{\max}}{m_1} + \frac{C_2^{\max}}{m_2} \right)^2 - \frac{C_1^{\max} C_2^{\max}}{m_1 m_2}}};$$

$$\omega_{1,2}^{\min} = \quad (7)$$

$$= \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{C_1^{\min} + C_2^{\min}}{m_1} + \frac{C_2^{\min}}{m_2} \right) \pm \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{C_1^{\min} + C_2^{\min}}{m_1} + \frac{C_2^{\min}}{m_2} \right)^2 - \frac{C_1^{\min} C_2^{\min}}{m_1 m_2}}}.$$

Результаты вычислений по выражениям (1), (6) и (7) сведены в табл. 1.

Учитывая, что круговые и линейные частоты колебаний связаны соотношением

$$f_i = \omega_i / 2\pi, \quad (8)$$

Таблица 1
 Значения C , ω и f двухкаскадной термоэлектрической батареи в зависимости от величины модуля Юнга Bi_2Te_3

Номер каскада	$E_{\min} = 2 \cdot 10^{10}$ Па	$E_0 = 6 \cdot 10^{10}$ Па	$E_{\max} = 10 \cdot 10^{10}$ Па
C , Н/м			
1	$7,14 \cdot 10^8$	$21,42 \cdot 10^8$	$35,7 \cdot 10^8$
2	$1,26 \cdot 10^8$	$3,78 \cdot 10^8$	$6,3 \cdot 10^8$
ω , рад/с			
1	$0,5985 \cdot 10^4$	$1,0368 \cdot 10^4$	$1,3382 \cdot 10^4$
2	$4,5525 \cdot 10^4$	$7,8849 \cdot 10^4$	$10,1796 \cdot 10^4$
f , Гц			
1	$0,0953 \cdot 10^4$	$0,1651 \cdot 10^4$	$0,2131 \cdot 10^4$
2	$0,7249 \cdot 10^4$	$1,2556 \cdot 10^4$	$1,6209 \cdot 10^4$

получим значения собственных частот колебаний для рассматриваемой системы с двумя степенями свободы (табл. 1).

Анализ данных табл. 1 показывает, что величина собственных частот колебаний изделия при определенных условиях может находиться в некотором диапазоне значений, что следует учитывать при проектировании и использовании прибора в условиях внешних динамических воздействий.

При учете демпфирующих свойств слоев припоя по торцам термоэлементов расчетная схема для определения их жесткости будет иметь вид, представленный на рис. 3 [6].

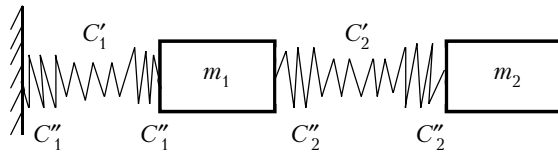


Рис. 3. Расчетная схема для определения жесткости термоэлементов с учетом демпфирующей способности слоев припоя по торцам термоэлементов: C_i' – жесткость термоэлементов i -го каскада; C_i'' – жесткость слоев припоя по торцам термоэлементов в каскаде с номером i ($i=1, 2$)

Таблица 2

Значения C , ω и f двухкаскадной термоэлектрической батареи в зависимости от величины модуля Юнга Vi_2Te_3 при учете демпфирующих свойств припоя по торцам термоэлементов

Номер каскада	$E_{\min}=2 \cdot 10^{10}$ Па	$E_0=6 \cdot 10^{10}$ Па	$E_{\max}=10 \cdot 10^{10}$ Па
C , Н/м			
1	$5,607 \cdot 10^8$	$15,78 \cdot 10^8$	$33,58 \cdot 10^8$
2	$0,991 \cdot 10^8$	$2,78 \cdot 10^8$	$5,93 \cdot 10^8$
ω , рад/с			
1	$0,5308 \cdot 10^4$	$0,8894 \cdot 10^4$	$1,302 \cdot 10^4$
2	$4,034 \cdot 10^4$	$6,7667 \cdot 10^4$	$9,076 \cdot 10^4$
f , Гц			
2	$0,08452 \cdot 10^4$	$0,1416 \cdot 10^4$	$0,2070 \cdot 10^4$
2	$0,6425 \cdot 10^4$	$1,0775 \cdot 10^4$	$1,5726 \cdot 10^4$

Тогда жесткость термоэлементов каждого каскада будет определяться по выражению

$$C_i = C_i' C_i'' / (C_i' + 2C_i''). \quad (9)$$

Учитывая числовые значения физико-механических и геометрических параметров термоэлектрического материала и припоя, а также разбросы значений модуля Юнга Vi_2Te_3 , получим величину возможных экстремальных разбросов жесткостей для каждого из каскадов (табл. 2).

Расчеты собственных круговых частот колебаний двухкаскадной термоэлектрической батареи по формулам (1), (6), (7) и, с учетом формулы (8), линейных частот колебаний позволяют получить границы диапазонов, в которых могут находиться эти величины при самом неблагоприятном сочетании параметров элементов изделия (табл. 2).

Анализ и сопоставление данных табл. 1 и 2 показывает, что экстремально возможный диапазон значений собственных частот при уменьшении жесткости системы (при учете демпфирующих свойств слоев припоя по торцам термоэлементов) сдвигается в сторону их уменьшения.

Предложенная методика и проведенные расчеты позволяют на этапе проектирования оценивать величину возникающих технологических и эксплуатационных напряжений, вырабатывать рекомендации и заключения о величине допустимых разбросов физико-механических характеристик используемых материалов, оценивать приемлемость границ полей допусков на геометрические размеры деталей и элементов при изготовлении изделия.

Полученные границы диапазонов собственных частот колебаний позволяют сопоставить их со значениями вынуждающих частот носителя и еще на этапе проектирования внести необходимые изменения в конструкцию прибора с целью предотвращения недопустимого сближения или совпадения значений собственных и вынуждающих частот колебаний. Учет демпфирующих свойств слоев припоя по торцам термоэлементов позволяет получать уточненные значения собственных частот колебаний термоэлектрического узла прибора.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Вайнер Л. А. Каскадные термоэлектрические источники холода. – М. : Сов. радио, 1978.
2. Лукичев Н. Л. Электропунктурная диагностика, гомеотерапия и феномен дальнего действия. – М. : ИПКИРИЦС, 1990.
3. Мачерет Е. Л., Самосюк И. З. Руководство по рефлексотерапии. – К. : Вища школа, 1982.
4. Ashcheulov A. A., Boretz V. Y., Dobrovolskij Yu. R. et al. A unif for thermalreflexoterapy // Journal of Thermoelectricity. – 1999. – N 4. – P. 81–84.
5. Писаренко Г. С., Яковлев М. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. – К. : Наукова думка, 1975.
6. Ashcheulov A. A., Romanyuk I. S., Shaiko-Saikovski A.G. Procedure for assesment of strength parameters of multi-stage thermoelectric coolers // Journal of Thermoelectricity. – 1999. – N 4. – P. 57 – 71.