

УДК 537



Микитюк П. Д.

Микитюк П. Д.^{1,2}, кандидат физико-математических наук

¹Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины, ул. Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина, e-mail: anatysh@gmail.com

²Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича, ул. Коцюбинского, 2, Черновцы, 58012, Украина; e-mail: anatysh@gmail.com

О СТАБИЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Приведены результаты экспериментальных исследований изменения со временем основных параметров и характеристик термоэлектрических преобразователей. Результаты исследований подтвердили высокую стабильность термопреобразователей после 20 и больше лет их хранения и могут быть использованы при оценке критериев надежности разных типов термоэлектрических преобразователей.

Ключевые слова: термопара, нагреватель, термопреобразователь, чувствительность, стабильность, надежность.

Введение

Сфера применения термоэлектрических преобразователей метрологического назначения постоянно расширяется благодаря их уникальным свойствам [1-2].

Исследования в области физики полупроводников, электромагнитных полей грозовых и статистических разрядов, а также ядерных, сейсмических, баллистических, некоторых биологических процессов, контактных процессов электросварки часто сопровождаются возникновением одноразовых электрических сигналов. Обширная область возникновения таких сигналов обуславливает широкий динамический диапазон их величин. Диапазон напряжения одноразовых импульсов, которые встречаются в практике измерений, находится в пределах от единиц микровольт до сотен киловольт, а диапазон длительности – в пределах от доли секунды до нескольких секунд.

Определение энергии одиночных и редко встречающихся электрических импульсов является актуальным в радиолокации, телеметрии, электро- и радиосвязи, цифровой технике, автоматическом управлении и регулировании и др. [3, 4].

Одним из наиболее эффективных средств для регистрации интегральных параметров одноразовых импульсов тока являются импульсные термоэлектрические преобразователи (ИТП) [5 – 8].

В Институте термоэлектричества созданы ИТП, оптимизированные для исследований импульсных процессов методом замещения исследуемого элемента схемы термопреобразователем (интегратором). Такие ИТП характеризуются высокой чувствительностью (10 ÷ 50 В/Дж), малыми габаритами и повышенной надежностью. Надежность ИТП во многих случаях становится определяющим критерием их применения, ведь цена отказа может оказаться весьма высокой.

Используя современную теорию надежности термоэлектрических приборов, созданную в Институте термоэлектричества [9], можно рассчитывать и прогнозировать надежность ИТП.

Однако никакой теоретический метод оценки по полноте и достоверности полученной информации не может сравниться с результатами фактической проверки основных параметров ИТП, полученных после значительного промежутка времени с момента их изготовления.

Поэтому *актуальным* является исследование фактических изменений основных параметров ИТП во времени для оценки их стабильности и надежности.

Целью работы является анализ изменения параметров термопреобразователей со сроком хранения 20 и больше лет для оценки стабильности их работы.

Методика исследования основных параметров ИТП

В качестве объекта исследования были выбраны 94 ИТП различных типонаименований, изготовленных в СКТБ «Фонон» в период с 1987 г. до 1990 г. и в Институте термоэлектричества в 1991 г.

Исследуемые ИТП были изготовлены в соответствии с ТУ АЮЖ 3.369.018.ТУ ГК-1987 по созданной в СКТБ «Фонон» технологии. Данные ИТП выборочно отбирались из разных партий термопреобразователей в качестве образцов внешнего вида, как того требовали государственные стандарты, регламентирующие выпуск такой продукции.

Следует отметить, что в качестве образцов внешнего вида отбирались ИТП с наилучшими электрическими параметрами, так как определяющими в этом случае были внешний вид и качество маркировки ИТП.

В ТУ АЮЖ 3.369.018. ТУ ГК-1987 нормированы основные характеристики и параметры ИТП разных номиналов (сопротивление нагревателя R_H , сопротивление термопары R_T , вольт-джоулева чувствительность S_Q , термоЭДС термопары E_T , емкость между нагревателем и термопарой C) и установлено их номинальные значения. Также приведен полный перечень всех видов электрических, механических, климатических испытаний, по результатам которых оценивалось качество ИТП.

В качестве основных характеристик при исследовании опытной партии ИТП в количестве 94 шт. были выбраны вышеупомянутые параметры: R_H , R_T , E_T , S_Q , C . Именно оценка отклонения их величин от номинальных значений, установленных техническими условиями, определяет уровень стабильности ИТП, которые хранились от 21 до 25 лет.

Метод, выбранный для исследования указанных параметров и характеристик, базируется на предварительном прямом измерении сопротивлений нагревателя и термопары измерителем LCR MCP BR2820. Такой подход дает возможность уже на начальном этапе исследований оценить состояние ИТП.

Следующий этап исследований состоит в пропускании через нагреватель импульса электрического тока с известной энергией и регистрации величины термоЭДС термопары. Это позволяет определить вольт-джоулеву чувствительность ИТП S_Q , которая находится по формуле

$$S_Q = \frac{E_T}{Q}, \quad (1)$$

где E_T – амплитудное значение исходного сигнала (термоЭДС) при действия на вход ИТП импульса тока, Q – энергия импульса. Для такого исследования использована измерительная схема, показанная на рис. 1.

Для определения вольт-джоулевой чувствительности ИТП при заданной энергии ($Q = 150$ мкДж), генератор импульсов переводится в ручной режим запуска. Выставляется необходимая продолжительность импульсов ($\tau = 10^{-4}$ с). Из блока питания на усилитель мощности подается

напряжение 5 – 10 В.

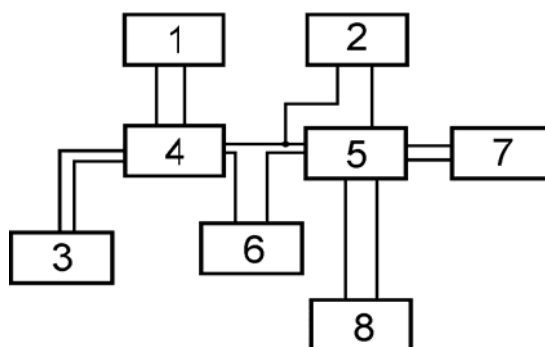


Рис. 1. Структурная схема измерения параметров ИТП.

1 – генератор импульсов ; 2 – $R_{\text{экв}}$ (эквивалентное сопротивление); 3 – блок питания; 4 – усилитель мощности; 5 – измерительная колодка с исследуемым ИТП; 6 – $R_{\text{огр}}$ (ограничительного сопротивление); 7, 8 – осциллограф запоминающий.

Импульсы тока подаются на магазин сопротивлений, на котором выставлено предварительно измеренное сопротивление, величина которого эквивалентна сопротивлению нагревателя. Далее генератор импульсов переводится в режим генерирования прямоугольных импульсов, которые можно наблюдать на осциллографе. По формуле

$$U_H = \sqrt{\frac{QR_H}{\tau}}, \quad (2)$$

где U_H – напряжение, которое подается на нагреватель, τ – продолжительность импульса, определяется напряжение, отвечающее энергии $Q = 150$ мкДж при известных значениях τ и R_H .

Следующий этап исследований заключается в том, что с помощью ограничительного сопротивления $R_{\text{огр}}$ и осциллографа выставляется необходимое напряжение U_H , которое подается на эквивалентное сопротивление $R_{\text{экв}}$. Генератор импульсов переводится в режим ручного запуска, а измерительная колодка переключается в положение преобразователя. Через ИТП с помощью генератора Г5-63 запускается импульс энергии заданной величины. Осциллограф, подключенный к выходу ИТП, регистрирует исходный сигнал – термоЭДС термопары E_T . Далее из формулы (1) проводится расчеты вольт-джоулевой чувствительности S_Q .

Последним этапом выбранной методики исследований является прямое измерение емкости между нагревателем и термопарой с помощью высокочастотного измерителя LCR MCP BR2820.

Результаты экспериментальных исследований ИТП

В качестве структурных элементов измерительной схемы, представленной на рис.1, были выбраны серийные, поверенные в установленном порядке, электроизмерительные приборы: осциллограф Fluke 199C, измеритель LCR MCP BR2820, генератор импульсов Г5-63 и др. Однако из-за отсут-



Рис. 2. Фото стенда для измерения параметров ИТП.

ствия стандартного усилителя мощности был создан и изготовлен усилитель мощности на транзисторе IRF 3808.

Исследование ИТП проводилось на стенде, внешний вид которого показан на рис. 2.

Параметры исследованных ИТП, усредненные по количеству каждого из типоминиатур термопреобразователей, представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Усредненные параметры импульсных термопреобразователей

Год вып.	Номинал	n, штук	Усредненные значения					
			R_H , Ом		R_T , Ом		C, пФ	
			по ТУ	факт	по ТУ	факт	по ТУ	факт
1987	0101	42	0,4-0,6	0,543	10-200	20,73	5	1,7
	0104	11	0,8-1,2	1,104		27,1		1,57
	0116	2	8-11	10,578		20,2		1,55
1988	0101	6	0,4-0,6	0,584	10-200	31,23		1,67
	0104	27	0,8-1,2	1,091		19,66		1,57
	0119	2	15-17	15,867		16,16	1,6	
1989	0116	2	8-11	10,117	10-200	36,3	1,6	
1991	0101	2	0,4-0,6	0,6		19,91	1,65	

Таблица 2

Усредненные электрические характеристики импульсных термопреобразователей

Год выпуска	Номинал	n, штук	Усредненные значения			
			E_{Tmin} , мВ, по ТУ	E_T , мВ, факт.	S_{Qmin} , В/Дж, по ТУ	S_Q , В/Дж, факт.
1987	0101	42	0,1	1,64	10	11
	0104	11		2,27		15
	0116	2		4,25		29
1988	0101	6		1,7		11
	0104	27		2,04		14
	0119	2		4,05		27
1989	0116	2		3,5		23
1991	0101	2		1,7		11

где n – количество ИТП.

Из табл. 1 и 2 видно, что величина сопротивления нагревателя R_H , величина сопротивления термопары R_T , емкость C и вольт-джоулева чувствительность S_Q находятся в пределах установленных ТУ.

Приведенные данные показывают, что даже через 20-25 лет хранения значения параметров исследованных ИТП не отклонились от их номинальных значений, указанных в ТУ, в то время как ТУ АЮЖ 3.369.018 ТУ ГК .1987 допускают отклонение параметров на величину до 15 % от их номинальных значений.

Значительная часть исследованных ИТП полностью отвечает требованиям технических условий, которая указывает на высокую стабильность параметров ИТП и их надежность.

Конструкции разных типов термопреобразователей как одноэлементных типа ТП-2 и

ТП-4, импульсных типа ТИ, так и многоэлементных дифференциальных типа ДТПТ, разработано с использованием унифицированных конструктивных элементов и корпусных деталей, которые обеспечивают высокую надежность и стойкость термопреобразователей к механическим и климатическим влияниям. А хорошо отработанная совершенная техника изготовления термопар и термобатарей для термопреобразователей с применением высокоэффективных термоэлектрических материалов, которые мало деградируют со временем, обеспечивают стабильность и идентичность характеристик созданных в Институте термоэлектричества термопреобразователей.

С учетом вышеизложенного результаты работы могут быть использованы при выборе и оценке критериев надежности ИТП и других типов термопреобразователей, которые созданы в Институте термоэлектричества.

Выводы

1. Полупроводниковые термоэлектрические преобразователи типа ИТП, созданные в СКТБ «Фонон» и в Институте термоэлектричества, характеризуются высокой надежностью, поддерживают стабильность своих параметров даже после 20-25 лет хранения и есть одним из наиболее эффективных средств при исследовании одноразовых или таких, что редко повторяются импульсов электрического тока.

2. С целью определения критических сроков работоспособности исследованных ИТП целесообразно продолжение их исследований до полного выхода из строя.

Литература

1. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: Справочник / Л.И.Анатычук.- К.: Наук. думка, 1979.- 768 с.
2. Анатычук Л.И, Боднарук В.И. Термоэлектрические преобразователи сменного тока для измерительной техники// Термоэлектричество.- 2007-№1.
3. Грязнов М.И. Интегральный метод измерения импульсов.- М.: Сов.радио, 1975.- 186 с.
4. Рехин Е.И. Глушковский М.Е. Измерение однократных импульсов в современной ядерной физике. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 96 с.
5. Боднарук В.И. Малогабаритные полупроводниковые преобразователи // Термоэлектричество. - 2001. - №3. - С.46-49.
6. Боднарук В.И., Бурачок Е.И., Македон М.А. Полупроводниковый интегрирующий преобразователь // Тезисов. докл. Вс. конф."Точные измерения энергетич. величин..." – Л.:ВНИИМ, 1988.
7. Боднарук В.И., Бурачок Е.И., Македон М.А. Полупроводниковый интегрирующий преобразователь // Тезисов. докл. Вс. конф."Точные измерения энергетич. величин..." – Л.:ВНИИМ, 1988.
8. Боднарук В.И., Димитрашук В.Т., Македон М.А. Физическая модель интегрирующего преобразователя // ИФЖ.- 1988. - Т.55. - №6. - С.965-070
9. L.I.Anatyчук, O.J. Luste Reliability Theory in Thermoelectricity// International Conference on Thermoelectrics // – 1996.-P.243-245.
10. Термоэлектрические полупроводниковые интегрирующие преобразователи ТИ-0102, ТИ-0104, ТИ-0114, ТИ-0120// Технические условия главного конструктора// АЮЖ 3.369.018. ТУ ГК.-1987.

Поступила в редакцию 14.09.2017

P.D.Mykytiuk, Candidate Phys.-math. Sciences

Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,
1, Naukystr, Chernivtsi, 58029, Ukraine; e-mail: anatykh@gmail.com
YuriiFedkovychChernivtsiNationalUniversity, 2, Kotsiubynskyistr.,
Chernivtsi, 58012, Ukraine; e-mail: anatykh@gmail.com

ON THE STABILITY OF PARAMETERS OF THERMOELECTRIC CONVERTERS

The results of experimental studies of the change with time in the main parameters and characteristics of thermoelectric converters are presented.

The results of the studies confirmed the high stability of thermal converters after 20 and more years of their storage and can be used in assessing the reliability criteria of different types of thermoelectric converters. Bibl. 9, Fig. 2, Tables 2.

Keywords: thermocouple, heater, thermal converters, sensitivity, stability, reliability.

References

1. Anatykhuk L.I. (1979). *Termoelementy i termoelektricheskiye ustroystva: spravochnik [Thermoelements and thermoelectric devices: handbook]*. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
2. Anatykhuk L.I., Bodnaruk V.I. (2007). Termoelektrychni peretvoriuvachi zminnoho strumu dlia vymiriuvanoi tekhniki [Thermoelectric alternating current converters for measuring equipment]. *Termoelektryka – J. Thermoelectricity*, 1, [in Ukrainian].
3. Griaznov M.I. (1975). *Integralnyi metod izmereniia impulsiv [Integral pulse measurement method]*. Moscow: Sovetskoe radio [in Russian].
4. Rekhin E.I., Glushkovskii M.E. (1983). *Izmereniie odnokratnykh impulsiv v sovremennoi yadernoi fizike [Measurement of single pulses in modern nuclear physics]*. Moscow: Energoatomizdat [in Russian].
5. Bodnaruk V.I. (2001). Malohabarytni napivprovodnykovi peretvoriuvachi [Small-scale semiconductor converters]. *Termoelektryka – J. Thermoelectricity*, 3, 46 – 49 [in Ukrainian].
6. Bodnaruk V.I., Burachek E.I., Makedon M.A. (1988). Poluprovodnikovyi integriruiushchii preobrazovatel [Semiconductor integrating converter]. Abstracts of the All-Union Conference “Precision measurements of energy values”. Leningrad: VNIIM [in Russian].
7. Bodnaruk V.I., Dimitrashchuk V.T., Makedon M.A. (1988). Fizicheskaia model integriruiushchego preobrazovatel'ia [Physical model of integrating converter]. *Inzhenerno-fizicheskii zhurnal – J. of Engineering Physics and Thermophysics*, 55 (6), 965 – 970 [in Russian].
8. Anatykhuk L.I., Luste O.J. (1996). Reliability theory in thermoelectricity. *Proc. of International Conference on Thermoelectrics* (p.243 – 245).
9. Thermoelectric semiconductor integrating converters TI-0102, TI-0104, TI-0114, TI-120. Specifications of the chief designer АЮЖ 3.369.018. ТУ ГК-1987 [in Russian].

Submitted 14.09.2017