

УДК 537



Микитюк П. Д.

Микитюк П. Д., канд. фіз.-мат. наук^{1,2}

¹Інститут термоелектрики НАН і МОН України, вул. Науки, 1,
Чернівці, 58029, Україна, e-mail: anatyach@gmail.com;

²Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
вул. Коцюбинського 2, Чернівці, 58012, Україна
e-mail: anatyach@gmail.com

ПРО СТАБІЛЬНІСТЬ ПАРАМЕТРІВ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Наведено результати експериментальних досліджень зміни з часом основних параметрів і характеристик термоелектричних перетворювачів. Результати досліджень підтвердили високу стабільність термоперетворювачів після 20 і більше років їх збереження і можуть бути використані при оцінці критеріїв надійності різних типів термоелектричних перетворювачів. Бібл. 10, Рис. 2, Табл. 2.

Ключові слова: термопара, нагрівник, термоперетворювач, чутливість, стабільність, надійність.

Вступ

Сфера застосувань термоелектричних перетворювачів метрологічного призначення постійно розширюється завдяки їх унікальним властивостям [1 – 2].

Дослідження в області фізики напівпровідників, електромагнітних полів грозових і статистичних розрядів, а також ядерних, сейсмічних, балістичних, деяких біологічних процесів, контактних процесів електрозварювання часто супроводжуються виникненням одноразових електричних сигналів. Широка область виникнення таких сигналів обумовлює значний динамічний діапазон їх величин. Діапазон напруги одноразових імпульсів, що зустрічаються в практиці вимірювань, знаходиться в межах від одиниць мікрвольт до сотень кіловольт, а діапазон тривалості – в межах від частки секунди до декількох секунд.

Визначення енергії поодиноких і таких, що рідко зустрічаються, електричних імпульсів є актуальним в радіолокації, телеметрії, електро- і радіозв'язку, цифровій техніці, автоматичному керуванні та регулюванні і ін. [3, 4].

Одним із найефективніших засобів для реєстрації інтегральних параметрів одноразових імпульсів струму є імпульсні термоелектричні перетворювачі (ІТП), [5 ÷ 8].

Створені в Інституті термоелектрики ІТП оптимізовані для досліджень імпульсних процесів методом заміщення досліджуваного елемента схеми термоперетворювачем (інтегратором). Такі ІТП характеризуються високою чутливістю (10 ÷ 50 В/Дж), малими габаритами і підвищеною надійністю. Надійність ІТП у багатьох випадках стає визначальним критерієм їх застосування, адже ціна відмови може виявитись надто високою.

Використовуючи сучасну теорію надійності термоелектричних приладів створену в Інституті термоелектрики [9] можна розраховувати і прогнозувати надійність ІТП. Однак,

жоден теоретичний метод оцінки за повнотою і достовірністю отриманої інформації не може конкурувати із результатами фактичної перевірки основних параметрів ІТП, отриманих після значного проміжку часу з моменту їх виготовлення.

Тому **актуальним** є дослідження фактичних змін у часі основних параметрів ІТП для оцінки їх стабільності та надійності.

Метою роботи є аналіз зміни параметрів термоперетворювачів з терміном зберігання 20 і більше років для оцінки стабільності їх роботи.

Методика дослідження основних параметрів ІТП.

За об'єкт дослідження були взяті 94 ІТП різних типоміналів, що були виготовлені в СКТБ «Фонон» у період з 1987 р. до 1990 р. та в Інституті термоелектрики в 1991 р.

Досліджувані ІТП були виготовлені у відповідності до ТУ АЮЖ 3.369.018.ТУ ГК-1987 за створеною в СКТБ «Фонон» технологією. Дані ІТП вибірково відбиралися із різних партій термоперетворювачів у якості зразків зовнішнього вигляду, як того вимагали державні стандарти, що регламентували випуск такої продукції.

Слід зазначити, що в якості зразків зовнішнього вигляду відбиралися ІТП з не найкращими електричними параметрами, так як визначальними у цьому випадку були зовнішній вигляд і якість маркування ІТП.

У ТУ АЮЖ 3.369.018. ТУ ГК-1987 визначено основні характеристики і параметри ІТП різних номіналів (опір нагрівника R_n , опір термопари R_m , вольт-джоулева чутливість S_Q , термоЕРС термопари E_m , ємність між нагрівником і термопарою, C) та встановлено їх номінальні значення. Також наведено повний перелік усіх видів електричних, механічних, кліматичних випробувань за результатами яких оцінювалась якість ІТП.

У якості основних характеристик при дослідженні дослідної партії ІТП в кількості 94 шт. були вибрані вищезазначені: R_n , R_m , E_m , S_Q , C . Саме оцінка відхилення їх величин від номінальних значень, встановлених технічними умовами визначить рівень стабільності ІТП, які зберігалися від 21 до 25 років.

Метод вибраний для дослідження вказаних параметрів і характеристик базується на попередньому прямому вимірюванні опорів нагрівника і термопари вимірювачем $L C R$ MСP BR2820. Такий підхід дає можливість уже на початковому етапі досліджень оцінити стан ІТП.

Наступний етап досліджень полягає в пропусканні через нагрівник імпульсу електричного струму з відомою енергією та реєстрації величини термоЕРС термопари. Це дозволяє визначити вольт-джоулеву чутливість ІТП S_Q , яка знаходиться за формулою

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

де E_T – амплітудне значення вихідного сигналу (термоЕРС) при дії на вхід ІТП імпульсу струму, Q – енергія імпульсу. Для такого дослідження використана вимірювальна схема, показана на рис. 1.

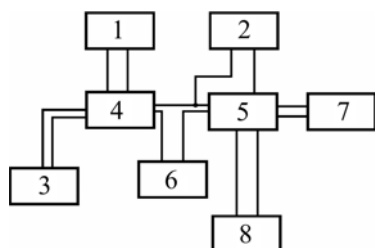


Рис. 1. Структурна схема вимірювання параметрів ІТП. 1 – генератор імпульсів; 2 – $R_{екв}$ (еквівалентний опір); 3 – блок живлення; 4 – підсилювач потужності; 5 – вимірювальна колодка з досліджуванним ІТП; 6 – $R_{обм}$ (обмежувач опір) 7, 8 – осцилограф запам'ятовувачий.

Для визначення вольт-джоулевої чутливості ІТП при заданій енергії ($Q = 150$ мкДж), генератор імпульсів переводиться на ручний режим запуску. Виставляється необхідна тривалість імпульсів ($\tau = 10^{-4}$ с). З блоку живлення на підсилювач потужності подається напруга 5 – 10 В. Імпульси струму подаються на магазин опорів, на якому виставлено попередньо вимірний опір, величина якого є еквівалентною опору нагрівника. Далі генератор імпульсів переводиться в режим генерації прямокутних імпульсів, які можна спостерігати на осцилографі. За формулою

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

де U_H – напруга, що подається на нагрівник, τ – тривалість імпульсу, визначається напруга U_H , яка відповідає енергії $Q = 150$ мкДж при відомому τ і R_H .

Наступний етап досліджень полягає в тому, що за допомогою обмежувального опору $R_{обм.}$ та осцилографа виставляється необхідна напруга U_H , яка подається на еквівалентний опір $R_{екв.}$. Генератор імпульсів переводиться в режим ручного запуску, а вимірювальна колодка переключасться в положення перетворювача. Через ІТП за допомогою генератора Г5-63 запускається імпульс енергії заданої величини. Осцилограф, що підключений до виходу ІТП реєструє вихідний сигнал – термоЕРС термопари E_T . Далі за формулою (1) проводиться розрахунок вольт-джоулевої чутливості S_Q .

Останнім етапом у вибраній методиці досліджень є пряме вимірювання ємності між нагрівником і термопарою за допомогою високочастотного вимірювача L C R MCP BR2820.

Результати експериментальних досліджень ІТП.

У якості структурних елементів вимірювальної схеми поданої на рис. 1 були вибрані серійні, повірені в установленому порядку електровимірювальні прилади: осцилограф Fluke 199C, вимірювач L C R MCP BR2820, генератор імпульсів Г5-63 та ін. Однак, через відсутність стандартного підсилювача потужності було створено і виготовлено підсилювач потужності на транзисторі IRF 3808.

Дослідження ІТП проводилися на стенді, зовнішній вигляд якого показаний на рис. 2.



Рис. 2. фото стенду для вимірювання параметрів ІТП

Усереднені за кількістю кожного з номіналів термоперетворювачів параметри досліджених ІТП подані в таблицях 1 і 2.

Таблиця 1

Усереднені параметри імпульсних термоперетворювачів.

Рік вип.	Номинал	n, штук	Усереднені значення					
			R_H , Ом		R_m , Ом		C, пФ	
			за ТУ	факт	за ТУ	факт	за 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	

Таблиця 2

Усереднені електричні характеристики імпульсних термоперетворювачів.

Рік випуску	Номинал	n, штук	Усереднені значення			
			E_{min} , мВ, за ТУ	E_m , мВ факт.	S_{Qmin} , В/Дж, за 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		

де n – кількість ІТП.

Із таблиць 1 і 2 видно, що величина опору нагрівника R_H , величина опору термопари R_T , ємність C та вольт-джоулева чутливість S_Q знаходяться в межах встановлених ТУ.

Наведені дані показують, що навіть через 20-25 років зберігання значення параметрів досліджених ІТП не відхилились від їх номінальних значень, зазначених у ТУ, у той час як ТУ АЮЖ 3.369.018 ТУ ГК .1987 допускають відхилення параметрів на величину до 15 % від їх номінальних значень.

Значна частина досліджених ІТП повністю відповідає вимогам технічних умов, що вказує на високу стабільність параметрів ІТП та їх надійність.

Конструкції різних типів термоперетворювачів, як одноелементних типу ТП-2 і ТП-4, імпульсних типу ТИ, так і багатоеlementних диференційних типу ДТПТ, розроблено з використанням уніфікованих конструктивних елементів і корпусних деталей, що забезпечують високу надійність і стійкість термоперетворювачів до механічних і кліматичних впливів. А добре відпрацьована досконала техніка виготовлення термопар і термобатарей для термоперетворювачів із застосуванням високоефективних термоелектричних матеріалів, що мало деградують з часом, забезпечують стабільність і ідентичність характеристик створених в Інституті термоелектрики термоперетворювачів.

З врахуванням вищевикладеного, результати роботи можуть бути використані при виборі і оцінці критеріїв надійності ІТП та інших типів термоперетворювачів, що створені в Інституті термоелектрики.

Висновки

1. Напівпровідникові термоелектричні перетворювачі типу ІТП, створені в СКТБ «Фонон» та в Інституті термоелектрики, характеризуються високою надійністю, підтримують стабільність своїх параметрів навіть після 20-25 років зберігання і є одним з найефективніших засобів при дослідженні одноразових або таких, що рідко повторюються імпульсів електричного струму.
2. З метою визначення критичних термінів працездатності досліджених ІТП, доцільним є продовження їх досліджень до повного виходу з ладу.

Література.

1. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: Справочник / Л.И.Анатычук.– К.: Наук. думка, 1979.– 768 с.
2. Анатичук Л.І, Боднарук В.І. Термоелектричні перетворювачі змінного струму для вимірювальної техніки// Термоелектрика.– 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.І. Малогабаритні напівпровідникові перетворювачі // Термоелектрика. – 2001. – №3. – С.46-49.
6. Боднарук В.И., Бурачек Е.И., Македон М.А. Полупроводниковый интегрирующий преобразователь // Тез. докл. Вс. конф."Точные измерения энергетич. величин..." – Л.:ВНИИМ, 1988.
7. Боднарук В.И., Бурачек Е.И., Македон М.А. Полупроводниковый интегрирующий преобразователь // Тез. 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.

Надійшла до редакції 14.09.2017

Микитюк П.Д.^{1,2}, канд. физ.-мат. наук

¹Институт термоэлектричества, ул. Науки, 1
Черновцы, 58029, Украина, e-mail: anatykh@gmail.com;
²Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича,
ул. Коцюбинского 2, Черновцы, 58012, Украина
e-mail: anatykh@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. Библи. 10, Рис. 2, Табл. 2.

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

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

Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,
1, Nauky str, Chernivtsi, 58029, Ukraine; e-mail: anatykh@gmail.com;
Yurii Fedkovych Chenivtsi National University, 2, Kotsiubynskyi str.,
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.

Key words: thermocouple, heater, thermal converters, sensitivity, stability, reliability.

References

1. Anatykhuk L.I. (1979). *Termoelementy i termoelektricheskiie ustroistva: 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: Sovietskoe radio [in Russian].
4. Rekhin E.I., Glushkovskii M.E. (1983). *Izmereniie odnokratnykh impulsov 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). Fizicheskaiia 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. Anatyshuk 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