

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-388-0-13>

**MEASUREMENT OF PARAMETERS BY THE NON-CONTACT  
METHOD OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY  
OF THERMOELECTRIC MATERIALS**

**ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БЕЗКОНТАКТНИМ  
СПОСОБОМ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ  
ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Danalakii O. G.**

*Candidate of Technical Sciences,  
Professor at the Department  
of mechanical and electrical  
engineering,  
National Technical University  
"Kharkiv Polytechnic Institute"  
Kharkiv, Ukraine*

**Даналакій О. Г.**

*кандидат технічних наук,  
професор кафедри машинобудування  
та електротехніки,  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний  
інститут»  
м. Харків, Україна*

В даний час відомі різні способи і пристрої [1, с. 49] для контролю електропровідності термоелектричних матеріалів. Традиційними є зондові методи на основі паяних або притискних контактів, через які пропускають постійний або змінний вимірювальні струми. Проте практика їх застосування зв'язана з рядом труднощів, що полягають в пошкодженні поверхні досліджуваного матеріалу в місцях формування контактів. Виникаючі контактні явища разом з поверхневими ефектами, а також ефектом форми зразка створюють побічні явища, спотворюючи результати вимірювань, що приводить до зниження достовірності визначення електропровідності одного з найважливіших параметрів термоелектричних матеріалів.

Вказані вище труднощі уникають використовуючи безконтактні методи вимірювання електропровідності. Ефекти взаємодії електромагнітного поля високих (ВЧ) і надвисокочастотних (НВЧ) коливань з досліджуваною речовиною лежать в основі безконтактних методів вимірювання їх електропровідності [2, с. 97]. При цьому НВЧ-поля застосовують для дослідження електропровідності тонких зразків або матеріалів з низькою електропровідністю. ВЧ-поля дають можливість досліджувати товщі зразки і з більш високою електропровідністю, що обумовлено поглинанням електромагнітної енергії всім об'ємом зразка, а не тільки його поверхневим шаром. На вибір частоти ВЧ-сигналу впливає добуток товщини зразка і його електропровідності, чим вище цей добуток, тим нижче частота

електромагнітних коливань, що використовуються. В якості таких полів звичайно використовують внутрішні поля конденсатора або котушки індуктивності, в якій розташовують досліджуваний зразок.

В даному випадку датчика ємності його параметри визначаються не тільки електропровідністю досліджуваного зразка, але і його діелектричної постійної, що істотно для напівпровідникових матеріалів. Тому, перевага віддана індуктивному датчику. В якості інформаційного параметру обрані його активні втрати, що вносяться в електромагнітне поле котушки за рахунок поглинання ВЧ-енергії вільними носіями досліджуваного матеріалу.

В [3, р. 251] рішення такої задачі проводиться шляхом вимірювання змін ВЧ-струму через котушку  $L$  індуктивного датчика, включеного в коливальний LC-контур, живлений джерелом ВЧ-коливань.

Зміна цього струму відповідає різниці ВЧ-струмів через індуктивний датчик при розміщенні контрольованого зразка в зазорі датчика і без нього, у випадку якщо величина напруги в процесі вимірювань залишалася незмінною.

Реалізація цього рішення проводилася з допомогою автогенератора, що містить коливальний контур з індуктивним датчиком. При виборі відповідних транзисторів і режимів їх роботи, постійний струм через індуктивний датчик, що вимірюється, рівний ВЧ-струму і містить інформацію про електропровідність досліджуваного зразка. В процесі вимірювань величина напруги на контурі стабілізується під дією кола негативного зворотного зв'язку.

Проте такий пристрій вимагає складної схеми автогенератора і не передбачає вимірювань щодо еталонного зразка що бажано при входному контролі електропровідності напівпровідникових матеріалів, що використовуються для виготовлення різних приладів (наприклад термоелектричних і ряду інших) [4, р. 136].

Для можливості вимірювань як величини електропровідності так і контролю її відхилення від заданого значення еталонних зразків нами було запропоновані шляхи і результати удосконалення відомих безконтактних методів і пристроїв, які використовуються для різних термоелектричних матеріалів.

На відміну від відомої схеми включення індуктивного датчика нами запропонована схема де паралельно котушці датчика підключений резистор, один з двох однакових, ідентично керованих резисторів. Втрати енергії що вносяться резистором еквівалентні втратам, що виникають при взаємодії електромагнітного поля котушки датчика з матеріалом досліджуваного зразка. Надалі резистором регулюється так, щоб втрати котушки, що входить в LC-контур а відповідно і величина

напруги, при внесенні досліджуваного зразка в зазор датчика і при його видаленні, залишалися незмінними.

Для визначення зміни величини опору цього резистора а тим самим і електропровідності досліджуваного зразка, використовується другий ідентичний резистор. При цьому для виключення впливу ефекту Пельт'є особлива увага зверталася на форму біполярного електричного струму індукованого в об'ємі досліджуваного зразка. Такий підхід при відповідному схемному рішенні забезпечує високу лінійність шкали вихідного індикатора.

Використовуючи також одночасно і диференціальний метод [5, с. 36] в поєднанні з одноканальною схемою обробки інформаційного сигналу був розроблений і реалізований прилад для експрес – вимірювань електропровідності напівпровідникових пластин і контролю її відхилення від електропровідності еталонного зразка

Для можливості вимірювання електропровідності масивних термоелектричних монокристалічних і пресованих злитків використовується індуктивний кільцевий датчик в зазорі якого розміщена вставка з діамагнітною речовини високої провідності. Робоча частота такого датчика знаходиться в НВЧ-діапазоні [6, р. 80].

При виготовленні приладу використовувалися дискретні напівпровідникові прилади, мікросхеми 133 і 155-й серій а також геконові реле. Конструктивно прилад містить дві частини. Одна з них – це блок змінних датчиків а друга – містить всю решту блоків а також блок електроживлення. Використовування різних індуктивних датчиків дає можливість контролю пластин не обхідних термоелектричних матеріалів із заданими розмірами перекриваючи при цьому широкий діапазон електропровідностей. Використовування диференціальної схеми датчика і одноканальної схеми обробки інформаційного сигналу забезпечили добру температурну стабільність і захист від перешкод приладу [7, с. 33].

Висока перешкодозахищеність від промислових наведень (наведення з частотою 50 Гц) реалізована за рахунок синхронного детектування на частоті 12.5 Гц.

Особливістю даного пристрою є лінійність шкали індикатора електропровідності. Разом з вимірюванням електропровідності термоелектричних матеріалів у вигляді злитків а також пластин і заготовок потенційними можливостями створеного приладу є можливість без контактного визначення:

- ступеня їх однорідності;
- коефіцієнта анізотропії електропровідності;
- розташування головних кристалографічних вісей;
- типу провідності (p- і n-типу);

– підбір однакових пар p- і n-гілок;  
– термоелектричної добротності  $Z$  анізотропних та неоднорідних параметрів.

Тривала експлуатація пристрою у виробничих і лабораторних умовах показала його придатність, як для вимірювання, так і експрес-контролю електропровідності термоелектричних матеріалів на основі Bi-Te-Se-Sb. При цьому температурна похибка вимірювання електропровідності не більше  $5 \cdot 10^{-4}$  град<sup>-1</sup>, а загальна похибка вимірювань не перевищує 4%.

### Література:

1. Сомкін М.Н., Зайков В.М., Вайнер А.С. Розрахункові оцінки власних резонансних частот коливань ТЕМ. *ТКЕА*. 2018. № 8, с. 47-54.
2. Тимошенко С.Р., Инг Д.Х., Уівер У.О. Елементарна теорія термоелектричного охолодження. *Вісник національного університету «Львівська політехніка»*. 2017. № 50. С. 87-102.
3. Sheer A.R. Comparison of zone melted and sintered material for thermoelectric refrigeration devices. *J. Electronics Control, First series*. 2014. V. 16. № 5. P. 243-252.
4. Yim W.M., Rosi F.D. Compound tellurides and their alloys for Peltier cooling. *Solid-State Electronics*. 2011. V. 17. № 9. P. 121-140.
5. Вайнер А.Л. Термоелектричні параметри та їх вимірювання. Одеса: “Негоціант”, 2008. 96 с.
6. Miller G.L., Robinson D.H., Wiley J.D. Contactless measurement of Semiconductor Conductivity by Radio Frequency Free – Carrier Power Absorption. *Rev. Sci. Instrum.* 2016. 17, № 7. С. 79-80.
7. Войтенко В.Р. Контроль основних параметрів ТЕМ. *Електронна техніка*. 2015. Сер.7. С. 29-38.