

ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ І МАГНІТНИХ ВЕЛИЧИН

УДК 537

ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ МІКРОРОЗМІРНИХ ОБ'ЄКТІВ

© Кривенчук Юрій, Микитин Ігор, Сегеда Олег, 2012

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,
вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна
proffesional@meta.ua, mykytynip@ukr.net, seheda@yahoо.com

Здійснено аналітичний огляд методів вимірювання електричного опору. На основі проведеного аналізу зроблено висновок про доцільність застосування методу безконтактного вимірювання електричного опору мікрооб'єктів.

Проведен аналітический обзор методов измерения электрического сопротивления. На основе проведенного анализа сделан вывод о целесообразности применения метода бесконтактного измерения электрического сопротивления микрообъектов.

In the article the review of the methods of measurement of electrical resistance. Based on the analysis concluded the feasibility of applying the method of contactless measurement of electrical resistance of micro.

Аналіз проблеми. В Україні останнім часом широко застосовуються різноманітні вироби та сенсори, розроблені на базі мікротехнологій. Потрібно також зазначити, що мікроелектроніка прямує до зменшення розмірів базового елемента. Причиною цього є низка переваг такого підходу, зокрема: зменшення розмірів мікросхем, зниження енергоспоживання, підвищення функціональності, швидкодії та мініатюризації засобів вимірювання, що розроблені на основі таких мікросхем. Проте для виготовлення якісного базового елемента потрібно постійно контролювати його параметри, одним з яких є електричний опір. Вимірювати опір можна контактним та безконтактним методами [1, 2, 3].

Крім того, сьогодні швидкими темпами розвиваються нанотехнології та створюються наноматеріали, що дозволяють розробляти елементи мікроелектроніки з унікальними характеристиками. До прикладу, розроблення нової технології виробництва транзисторів і логічних схем з вуглецевих нанотрубок може стати початком ери високоякісної, портативної та гнучкої електронної продукції, причому за надзвичайно доступною ціною. Нова технологія дозволяє швидко і легко створювати високоефективні тонкоплівкові транзистори [3].

Інноваційний метод виробництва транзисторів оснований не на використанні однієї нанотрубки, а на тонкій плівці, що складається з багатьох переплетених

нанотрубок. Виготовляючи такі транзистори, також потрібно контролювати електричний опір наоплівки.

Актуальність дослідження. Тому актуальним є дослідження можливості застосування контактних та безконтактних методів вимірювання електричного опору мікроскопічних об'єктів.

Мета роботи. Аналітичний огляд методів вимірювання електричного опору та синтез структурної схеми засобу вимірювання.

Виклад основного матеріалу. З огляду на проблематику вимірювання електричного опору мікроскопічних об'єктів, розглянуто контактні та безконтактні методи вимірювання опору і проведено аналіз їх переваг та недоліків.

Класифікація методів вимірювання електричного опору подана на рис. 1.

Метод амперметра і вольтметра. Опір будь-якої ділянки електричного кола можна визначити за допомогою амперметра і вольтметра, користуючись законом Ома. Можливими є дві схеми вимірювання: правильне вимірювання напруги та схема правильного вимірювання струму [4, 5]. Перевагою цього методу є простота схеми вимірювання, недоліком – необхідність використання двох засобів вимірювання (амперметра та вольтметра).

Мостовий метод. Мости постійного струму призначені для точних вимірювань електричних опо-

рів. Мостова схема складається з джерела живлення, гальванометра G і чотирьох резисторів, що вмикаються у плечі моста: з невідомим опором R_x і відомими опорами R_1, R_2, R_3 , з яких R_2 – змінний резистор.

Мостові методи широко застосовують для вимірювання як малих, так і великих опорів. Розрізняють одинарний і подвійний електричні мости. Перший дає змогу з високою точністю (0,01 – 0,0001 %) вимірювати значення високоомних опорів ($10^3 - 10^6$ Ом), але при вимірюванні малих опорів похибка суттєво зростає. Подвійний міст дає можливість з похибкою 0,1 – 0,001 % вимірювати опори близько $10^{-3} - 10^{-4}$ Ом [5, 6]. Перевагою цього методу є висока точність вимірювання, недоліком – тривалий час вимірювання.

Метод безпосередньої оцінки. Можливі схемні рішення методу безпосередньої оцінки – з послідовним та паралельним з'єднання відлікового пристрою з вимірюваним опором. Послідовна схема застосовується для вимірювання високоомних, а паралельна схема – для вимірювання низькоомних опорів. Показ омметра є функцією вимірюваного опору та значення напруги джерела живлення. Тому, для виключення впливу опору джерела на показ омметра, застосовують додатковий регульовальний резистор R_d , за допомогою якого в послідовній схемі (при замкнутому ключі, а в паралельній схемі при розімкнутому ключі стрілку омметра встановлюють у початковий стан [5, 6] Перевагою методу є простота схемної реалізації, недоліком – низька точність вимірювання

Метод вихрових струмів (безконтактний метод) дає змогу вимірювати питомий електричний опір зразків довільної форми. Досліджуваний об'єкт

розміщується в деякий коливальний контур і вимірюється зміна електромагнітної енергії, накопичена в контурі. Внесення досліджуваного об'єкта призводить до втрат енергії електромагнітного поля всередині контуру, оскільки сили електричного поля здійснюють роботу над струмами провідності в зразку. Енергія поля, отримана носіями струму, перетворюється на джоулеве тепло, яке залежить від питомого опору досліджуваного об'єкта. Тому за результатами вимірювань енергії втрат у контурі можна визначити питомий опір. За безконтактним методом зазвичай вимірюють значення добротності резонансного контуру. При резонансі можна з високою точністю виміряти величину активного опору контуру (реактивний опір на резонансній частоті дорівнює нулеві).

За допомогою котушки збудження, сполученої з джерелом змінної напруги, в зразку наводиться змінний (вихровий) струм. Величина і розподіл вихрових струмів по перетину досліджуваного об'єкта залежить від його електричної провідності, магнітної проникності, форми, розмірів і від форми котушки. Реєстрацію та вимірювання вихрових струмів можна здійснювати або за допомогою другої котушки, сполученої з вимірювальним пристроєм, або за зміною комплексного опору (імпедансу) вимірюваного кола [7].

Перевага цього методу – не потрібен електричний контакт між досліджуваним об'єктом та засобом вимірювання, недоліком є те, що вимірюється значення питомого електричного опору (для розрахунку значення електричного опору потрібно знати геометричні розміри досліджуваного об'єкта).

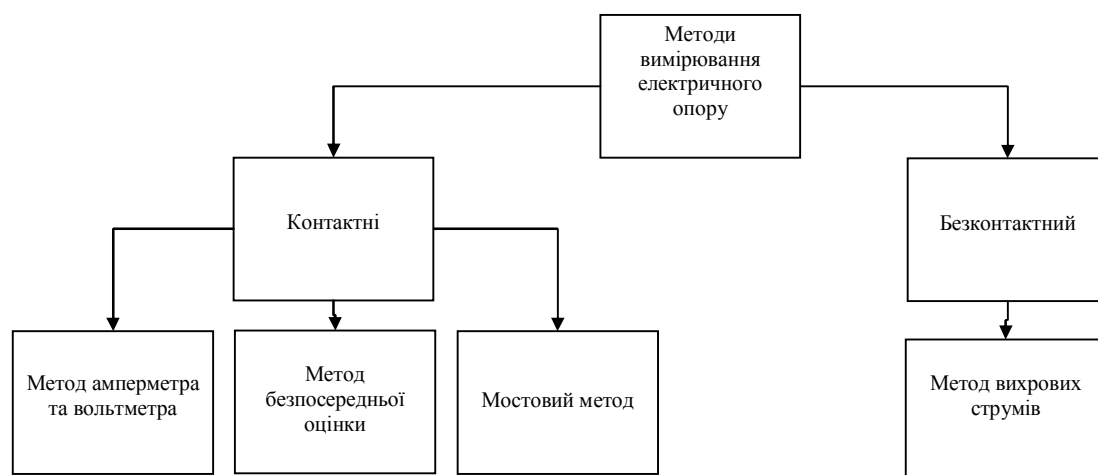


Рис.1. Класифікація методів вимірювання опорів

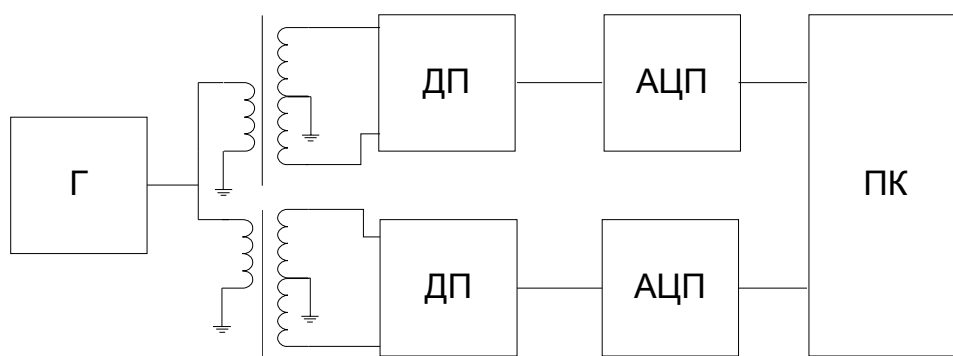


Рис. 2. Структурна схема устави для безконтактного вимірювання електричного опору мікрооб'єктів

Враховуючи переваги методу безконтактного вимірювання, запропоновано структурну схему засобу вимірювання електричного опору (рис. 2), де Г – генератор, ДП – диференційний підсилювач, АЦП – аналого-цифровий перетворювач, ПК – персональний комп'ютер.

Вхідне коло засобу вимірювання складається з двох однакових трансформаторів напруги, кожен з яких має один вхідний навій та два вихідних навоїв з однаковою кількістю витків. Один трансформатор має повітряний проміжок у осерді магнітопроводу, а інший може мати повітряний проміжок або не мати його. З генератора подається сигнал синусоїдальної форми на обидва трансформатори, під'єднані до двох диференційних підсилювачів. Підсилений сигнал перетворюється у цифрову форму аналого-цифровими перетворювачами. Отримана інформація з двох каналів засобу вимірювання через USB порт передається до персонального комп'ютера, де проводиться математичне опрацювання результатів вимірювання.

Висновок. Для вимірювання електричного опору мікрооб'єктів контактним методом необхідно забезпечити надійний електричний контакт між засобом вимірювання та досліджуванім об'єктом. Переважно для цього потрібно застосовувати складні технічні комплекси, а іноді взагалі не вдається використати контактний метод вимірювання. Здебільшого для встановлення електричного контакту застосовують маніпулятори (до прикладу, прецизійні крокові двигуни), а для візуалізації наявності контакту необхідно використовувати мікроскопи, що робить такий засіб вимірювання достатньо дорогим, а сам процес вимірювання – технічно складним. Крім того, врахо-

вуючи, що щупи повинні бути за розмірами співмірними або меншими за розмір об'єкта вимірювання, особливу увагу потрібно приділяти надійному електричному контакту. За поганого контакту можливе суттєве зростання похибки вимірювання, особливо у разі вимірювання малих значень електричного опору. Враховуючи сказане вище, зроблено висновок про доцільність використання методу безконтактного вимірювання електричного опору мікрооб'єктів та синтезовано структурну схему засобу вимірювання.

1. Журавлёв Л.Г., Филатов В.И. *Физические методы исследования металлов и сплавов: учеб. пособие для студентов металлургических специальностей.* – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 157 с.2. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. *Физические свойства металлов и сплавов.* – М: Металлургия, 1980. – 320 с. 3. Демин Ю.Н. *Физика металлов: учеб. пособие.* – М.: МГИУ, 2003.4. *Транзисторы на углеродных нанотрубках откроют эру производства дешевых электронных устройств [Электронный ресурс] – Режим доступа до информации:* <http://www.temperatures.ru/mtsh/mtsh9.html><http://www.dailytechinfo.org/nanotech/2135-transistory-na-uglerodnykh-nanotrubkakh-otkroyut-yeru-proizvodstva-deshevyx-yelektronnykh-ustrojstv.html>. – 5. *Основы метрологии и электрические измерения: учеб. для вузов / под ред. Е.Д. Душина.* – М.: Энергия, 1980. 6. *Малиновский В.Н. Электрические измерения: учеб. для техникумов (с лабораторными работами).* – М.: Энергоиздат, 1982. – 392 с. 7. *Панев Б.И. Электрические измерения: справочник (в вопросах и ответах).* – М.: Агропромиздат, 1987. – 224 с.