

УДК 621.317.727.1

ТОЧНІСТЬ ОТРИМАННЯ ПЛІВКОВИХ ПОТЕНЦІОМЕТРІВ

О.В. ШВЕД, Н.А. ФРОЛОВА, В.О. РУМБЕШТА

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

У статті проведено аналіз отримання плівкових потенціометрів; розглянуто основні методи нанесення резистивної плівки; проведено порівняльний аналіз цих методів; наведено методики розрахунку основних методів оцінки точності виготовлення плівкових потенціометрів; запропоновано новий метод оцінки точності отримання металоплівкових потенціометрів

У наш час потенціометри широко застосовуються в схемах різних приладів, у вимірювальних мостових схемах, а також у системах автоматичного слідувального приводу, як керувальні, налагоджувальні, регулювальні та балансувальні елементи. В основному вони використовуються в малогабаритній електроніці при малих струмах, а також як пристрої кутових і лінійних переміщень, переводячи останні у відповідні їм по величині електричні напруги. Потенціометри входять до складу ланцюга як ділянки напруги.

Плівковий потенціометр (ПП) передбачає нескінченну розподільну здатність, високу надійність і точність. До його складу входить тонка резистивна металева плівка, на кінцях якої розміщені виводи вихідної напруги, і ковзаючий контакт. Для отримання потрібної величини опору необхідна дуже мала товщина металевої плівки (шар не більше $2\div 5$ мкм), що скорочує термін її служби. Проте незважаючи на це, ПП мають гарну лінійність робочих характеристик і високі точнісні та експлуатаційні характеристики. Практично необмежена розподільна здатність металоплівкових потенціометрів забезпечує нескінченну кількість положень контакту на резистивному елементі. Крім того, момент обертання ПП менший, ніж у дровових потенціометрів і не перевищує 7,5 г·см. Загальний опір цих потенціометрів знаходиться в межах від 100 Ом до 1 МОм і похибка характеристики не перевищує 0,5 %, а в деяких випадках може бути знижена до 0,1 %. Також ПП можуть довгостроково працювати при високих температурах, потужність їх розсіювання дорівнює приблизно 3 Вт при температурі $+100^{\circ}\text{C}$ [1].

Об'єкти та методи дослідження

При виготовленні ПП неминує виникає низка похибок: похибка величини питомого опору вихідного металосплаву, яка виникає через розкид, що має місце, його хімічного складу, похибки ширини та товщини резистивної плівки, похибка отримання робочого кута потенціометра, похибка середнього діаметра ПП. Технологічний процес виготовлення ПП містить такі етапи: виготовлення підкладки-каркаса, отримання елемента опору, коригування робочої доріжки, монтаж і складання ПП, а також контроль готового виробу. Найбільш відповідальною операцією при виготовленні елемента опору є операція нанесення резистивної плівки. Для цього застосовується кілька методів, основними з яких є електрохімічне осадження й осадження термічно випареного металу у вакуумі [2]. Найпростішим і найдешевшим способом нанесення металевих плівок на підкладки є перший. Проте покриття виходить пористим і з більшим розкидом хімічного складу сплаву через різну хімічну активність іонів різних металів сплаву в розчині. У момент осадження плівки корпус потенціометра покривається захисним шаром нітролаку, за винятком місця нанесення металевої плівки, і вміщується в 10%-вий розчин хлористого олова та 1%-вий розчин азотно-кислого срібла. З розчину на незахищене місце осаджується тонка плівка олова із вкрапленням срібла. Після промивання каркас уміщують в електролітний розчин малого струму, де анодно-хімічним способом розчинено необхідний сплав металів резистора.

Іони цього сплаву осаджуються на олово, вступаючи в хімічну реакцію осадження, і утворюють металеву резистивну плівку. Після промивання металеву доріжку необхідно пополірувати.

Другий метод нанесення резистивної плівки полягає у випарі речовини металосплаву й наступної конденсації його випарів на підкладці [3]. Термічне осадження у вакуумі набагато дорожче через необхідність вакуумних камер, але при його використанні можна отримати високоякісні резистивні плівки різної товщини до 0,1 мм. На корпусах потенціометрів розміщується нітроемалева захисна маска із просвітами в місцях нанесення металу. Далі корпуси вміщують у вакуум-камери, де перебуває тигель із необхідним резистивним сплавом. За допомогою індуктора сплав дуже нагрівають і випаровують. Конденсатним методом пари випаруваного металу осаджуються на корпуси потенціометрів. Потім емалеву маску змивають, і потенціометри надходять на розпаювання виводів, складання й контроль.

Основні параметри ПП здебільшого залежать від електрофізичних властивостей вихідних матеріалів і технології їх виготовлення, а саме від властивостей допоміжного металевого підшару, який застосовується для підвищення адгезійної здатності. Залежно від питомого опору матеріалів, які застосовуються для виготовлення резистивної плівки, змінюється номінальне значення її опору. Тому необхідна попередня оцінка можливої величини максимально припустимих номінальних значень опору металоплівкових потенціометрів. Розглянемо опір резистивної плівки, зображеної на рисунку, без урахування неоднорідності покриття через малу товщину плівки. Відомо, що

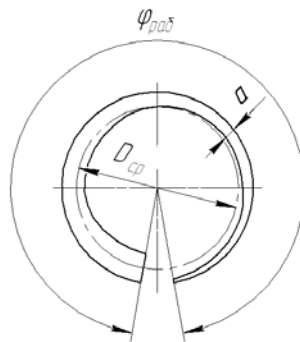
$$R = \rho \frac{l}{S_{\varphi}}, \tag{1}$$

де ρ – питомий опір вихідного матеріалу, $\text{ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$; $S_{\varphi} = a \cdot h$ – змінна площа поперечного перерізу плівки, мм^2 ; h – товщина резистивної плівки, мм ; $l = \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot K_{\varphi}$ – довжина плівки, м ; $K_{\varphi} = \frac{\varphi_{\text{раб}}}{360}$.

Підставивши ці величини в вираз (1), отримаємо:

$$R_{\varphi} = \rho \frac{\pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot K_{\varphi}}{a \cdot h}, \tag{2}$$

де $R_{\varphi} = f(\varphi)$ – функція залежності опору резистивної плівки від кута повороту струмознімача.



Конфігурація резистивної плівки потенціометра:

$D_{\text{ср}}$ – середній діаметр; a – змінна ширина плівки по куту φ ; $\varphi_{\text{раб}}$ – робочий кут потенціометра

Постановка завдання

Знаходження похибок виготовлення ПП, які застосовуються в наш час [1], громіздке, вимагає побудови складних графіків і не є досить точним.

Під час проведення цих розрахунків трапляється багато незручностей і неточностей, які пов'язані з великим обсягом обчислювальних операцій. Тому ми розробили наведений нижче параметричний метод знаходження точності металоплівкових потенціометрів.

Результати та їх обговорення

В основу методу покладене визначення всіх вихідних характеристик, які впливають на цей електрофізичний параметр, і встановлення їх функціональної залежності. У нашому випадку первинними характеристиками є ρ , $D_{\text{серед}}$, K_{φ} , a і h . Потрібно за допомогою методу параметричної точності вирахувати похибку опору резистивної плівки. Цього можна досягти, використовуючи підметод часткового диференціювання:

$$\Delta R_{\varphi} = \frac{\partial R}{\partial \rho} \delta_{\rho} + \frac{\partial R}{\partial D} \delta_D + \frac{\partial R}{\partial K_{\varphi}} \delta_{K_{\varphi}} + \frac{\partial R}{\partial a} \delta_a + \frac{\partial R}{\partial h} \delta_h, \quad (3)$$

де $\frac{\partial R}{\partial \rho}$, $\frac{\partial R}{\partial D}$, $\frac{\partial R}{\partial K_{\varphi}}$, $\frac{\partial R}{\partial a}$, $\frac{\partial R}{\partial h}$ – часткові похідні, відповідно, по питомому опору, по середньому діаметру

ПП, по робочому куту φ_i ПП, по ширині резистивної плівки потенціометра, а також по товщині резистивної плівки ПП; δ_{ρ} , δ_D , $\delta_{K_{\varphi}}$, δ_a , δ_h – допуски на вказані вище характеристики як можливі максимальні похибки. Цей метод простий для розуміння, але ускладнений розрахунками часткового диференціювання. Тому ми пропонуємо ще один метод, у якому часткове диференціювання замінюється двома простими діями – множенням і діленням. Підметод відносної точності [2]:

$$\Delta R_{\varphi} = R_{\varphi} \left(\frac{\delta \rho}{\rho} + \frac{\delta D}{D} + \frac{\delta K_{\varphi}}{K_{\varphi}} + \frac{\delta a}{a} + \frac{\delta h}{h} \right), \quad (4)$$

де $\frac{\delta \rho}{\rho}$, $\frac{\delta D}{D}$, $\frac{\delta K_{\varphi}}{K_{\varphi}}$, $\frac{\delta a}{a}$, $\frac{\delta h}{h}$ – відносна точність виготовлення вказаних вище параметрів.

Аналіз показав, що запропоновані методи є більш точними й зручними при обрахуванні похибки опору резистивної плівки, вони враховують абсолютно всі змінні фактори виготовлення плівки, від точності якої залежить точність плівкового потенціометра.

Висновки

Параметричний метод, до якого входять підметод часткового диференціювання й відносної точності, детально розглядає всі похибки, які можуть виникати під час виготовлення ПП, і має більший відсоток точності порівняно з уже існуючими методами, тому він є більш ефективним і рекомендується для визначення похибок металоплівкових потенціометрів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Белевцев А.Т. Потенциометры. – М.: Машиностроение, 1969. – 25 с.
2. Румбешта В.О. Основы технологии складання приладів: Підручник. – К.: ІСДО, 1993. – 206 с.
3. Данилин Б.С. Вакуумное нанесение тонких пленок. – М.: Энергия, 1967. – 8 с.

Надійшла 16.07.2009