

УДК 621.317.727.1

**АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ РОБОТИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОТЕНЦІОМЕТРІВ**

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

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

*Проведено аналіз існуючих методів визначення точності функціональних потенціометрів, виділені їх недоліки і запропоновано новий метод для розрахунку точності функціональних потенціометрів*

Функціональні потенціометри (ФП) знайшли широке застосування в автоматичній й у приладах спеціального призначення, як керуючі пристрої. За допомогою ФП, опір якого розподілено за деяким законом (функцією), можна не тільки перетворити механічну величину в електричну, але й реалізувати необхідний функціональний зв'язок між цими величинами. Відомі синусно- косинусні потенціометри знайшли застосування в радіотехніці, інформаційно-вимірювальній техніці, ФП застосовуються також у системах автоматичного керування й регулювання, в аналогових і гібридних обчислювальних машинах, в обладнанні кодування (декодування), у вимірювальних обладнаннях і т.п.

**Об'єкти та методи дослідження**

У ході виготовлення дротяних ФП виникають наступні похибки [1]: похибка неточності форми й розмірів каркаса; похибка через ступінчастість опору ФП; похибка викликана варіаціями омичного опору по довжині проведення; похибка, викликана неоднаковістю контакту при різних кутах повороту ФП; похибка викликана неточним кроком намотування; похибка, викликана невірним вибором натягу проведення при намотуванні - перераховані вище похибки є конструктивними й з'являються при розробці ФП, що викликає різну довжину його витків. Крім них існують так звані експлуатаційні похибки: абсолютна, середня й відносна, що виникають при навантаженні запропонованого ФП. По виду струмопровідного елемента ФП діляться на дротяні й недротяні. Потенціометр конструкційно являє собою обладнання з рухливої і нерухливої частин, нерухливою частиною є корпус, у який вмонтовано струмопровідний елемент, або каркас із обмоткою.

Технологічний процес виготовлення металоплівкових потенціометрів складається з наступних етапів: підготовка підложок зі скла, нанесення підшару із двоокису олова, родіювання плівки, повторне нанесення двоокису олова, родіювання плівки, стабілізація потенціометрів, захист від корозії, випробування на механічну міцність. Домінуюче число ФП у техніці презентовано в дровому варіанті. Основним вузлом даних потенціометрів є каркас із обмоткою. Виготовляють каркаси з текстоліту на звичайних токарських верстатах, з термореактивних преспорошків гарячим пресуванням (такі каркаси звичайно являють собою кільця зі сходами) і литтям кілець зі сплавів Амг або Д16. Геометричні параметри каркаса прямо залежать від величини загального опору потенціометра й від розташування контактної доріжки.

При виготовленні кільцевих каркасів виникають похибки: неточність розмірів по зовнішньому й внутрішньому діаметрах кільця, по висоті, ексцентриситет між зовнішньою й внутрішньою поверхнями кільця, недостатня твердість. Формули, по яких розраховуються вищевказані похибки, що викликають зміну довжини витків проведення мають вигляд:

$$\Delta r1 = \frac{2\rho}{S \cdot \cos\varphi} \Delta h \quad \Delta r2 = -\frac{2\rho}{S \cdot \cos\varphi} \Delta b \quad \Delta r3 = \frac{1,14R \cdot n}{2\pi} \Delta b \sin^2 \frac{\alpha}{2} \quad (1-3),$$

де  $\Delta r1$  – похибка опору на висоту каркасу;  $\Delta r2$  – похибка опору на товщину каркасу;  $\Delta r3$  – похибка опору на ексцентриситет каркасу;  $\rho$  – питомий опір  $\varphi$  – кут підйому витка намотки;  $\alpha$  - кут між радіусом і перпендикуляром по напрямку ексцентриситету;  $b$ - товщина каркасу;  $h$  – висота каркасу

Наступним етапом технології є намотування. На цьому етапі погрішність викликається двома причинами: нерівність кроку намотування, неточність установки движка потенціометра, що приводить до утворення похибки. Величина якої обчислюється в такий спосіб:

$$\Delta r4 = \frac{r1}{R} (W_{cm1} + W_{cm2}) \quad (4)$$

де  $\Delta r4$  – похибка викликана нерівністю кроку намотування і неоднаковістю контакту двигунця із намоткою;

$r1$  – опір одного витка намотки;

$W_{cm}$  – кількість витків.

Також помилки вихідної напруги викликає так звана ступінчастість: явище викликане тим, що движок потенціометра при русі б перескакує через витки намотування. Для визначення помилки із за ступенчатості в проволочно-намотаном ФП використовують наступну формулу:

$$\Delta u1 = \pm \frac{U_0}{2\Delta n} \quad (5)$$

де  $\Delta u$  – величина похибки вихідної напруги через ступінчатість;

$\Delta n$  – кількість витків обмотки на ділянці з максимальною кривизною;

$U_0$  – величина прикладеного навантаження.

Крім вищевказаних конструкційних похибок у ФП виникають похибки "робочі", які відносяться до навантажених потенціометрів. У практиці розрахунків зустрічаються дві відносні похибки. Перша являє собою відношення абсолютної похибки до поточного значення напруги, що знімається з ненавантаженого потенціометра. Ця відносна похибка в % виражається рівнянням

$$\Delta u2 = \frac{\Delta U_x}{U_x} \cdot 100 \quad (6)$$

Друга відносна похибка являє собою відношення абсолютної похибки до максимальної напруги, що знімається з потенціометра. У цьому випадку вираження для відносної похибки (в %) має вигляд

$$\Delta u3 = \frac{\Delta U_x}{U_0} \cdot 100 \quad (7)$$

При розрахунках навантажених потенціометрів необхідно враховувати також середню абсолютну й середню відносну похибки. Середня абсолютна похибка  $\Delta U_{x\text{cp}}$  визначається як висота прямокутника, площа якого дорівнює площі, що відокремлена кривою  $\Delta U_x = \varphi(k, \frac{l_x}{l_0})$  при  $k = \text{const}$

Так як маємо прямокутник  $l_x = l_0$ , то вираз для  $\Delta U_{x\text{cp}}$  має вигляд

$$\Delta u4 = \frac{1}{l_0} \int_{l_x=0}^{l_x=l_0} \Delta U_x dl_x \quad (8)$$

Середня відносна похибка визначається так само як і середня абсолютна:

$$\Delta u_5 = \frac{1}{l_0} \int_{l_x=0}^{l=l_{0x}} \Delta u_x dl_x \quad (9)$$

Похибки внесені навантаженням можна компенсувати застосовуючи каркаси ступінчастого профілю, а також використовуючи додатковий змінний опір із прямолінійним переміщенням движка. Движки ці двох потенціометрів жорстко зв'язані. Дія навантажувального опору проявляється в додатковій спаданні напруги тому що по цій ділянці крім струму холостого ходу проходить струм навантаження. Якщо послідовно з потенціометром включити змінний опір, величина якого при переміщенні движка потенціометра змінюється так, що струм завжди залишається незмінним і рівним току холостого ходу то такий опір компенсує вплив навантаження. Також застосовуються підсилювачі, що розв'язують, коефіцієнт посилення яких дорівнює одиниці. Сумарна похибка ФП у цьому випадку буде рівна:

$$\delta_{\Sigma} = \Delta r_1 + \Delta r_2 + \Delta r_3 + \Delta r_4 + \Delta u_1 + \Delta u_2 + \Delta u_3 + \Delta u_4 + \Delta u_5; \quad (10)$$

#### **Постановка завдання**

Проведення такої кількості розрахунків приводить до великої кількості неточностей і незручностей, пов'язаних із трудомісткістю обчислень, через їх диференційованість, поділ на безліч незалежних похибок, кожна з яких має певний відсоток неточності. Тому поставленою завданням є приведення похибок, що розраховуються, до однієї методики визначення, що приведе до більш зручного й більш точного керування якістю ФП. . Тому пропонується наступний метод визначення точності дрових ФП.

#### **Результати та їх обговорення**

Такий метод параметричної точності полягає у виявленні всіх первісних факторів і характеристик  $q_i$ , які впливають на даний фізичний параметр –  $R_0$  – номінальний опір потенціометра й установлення функціональної залежності в якій вони між собою перебувають. Таким чином, якщо  $q_1, q_2, \dots, q_n$  - вихідні величини, які є безліччю незалежних змінних,  $Q_0$  - номінальне значення вихідного параметра, то похибка буде дорівнювати [2]

$$\Delta R = \sum_1^n \frac{\partial R_0}{\partial q_i} \Delta q_i \quad (11)$$

Для розрахунку  $\Delta R$  цим методом приймаємо рівняння зв'язку для ФП

$$R_0 = \frac{4\rho D l_b}{d^2 t} \quad (12)$$

де  $\rho$  – питомий опір;  $D$  – діаметр потенціометра;  $l_b$  – довжина витка;  $d$  – діаметр дроту;  $t$  – крок намотки

Визначити точність вихідного параметра ФП при відомій точності вхідних характеристик можна методами часткового диференціювання й методу відносної точності.

1. При методі приватного диференціювання одержуємо такий допуск, як максимальну похибку по формулі [2]  $\delta(R) = \frac{\partial R_0}{\partial \rho} \delta(\rho) + \frac{\partial R_0}{\partial D} \delta(D) + \frac{\partial R_0}{\partial l_b} \delta(l_b) + \frac{\partial R_0}{\partial d} \delta(d) + \frac{\partial R_0}{\partial t} \delta(t)$  (13)

Звідси ми можемо зробити висновок, що всі члени суми перебувають у суперпозиції, тобто є незалежними, це дає можливість розраховувати їх окремо, значно спрощуючи розрахунки.

2. При методі відносної точності формула має вигляд як степенева функція вихідного параметра  $R_0$ :

$$R_0 = 4\rho^1 D^1 l_e^1 d^{-2} t^{-1} \quad (14)$$

Як було зазначено раніше  $Q_0$  – номінальне значення вихідного параметру  $R_0$

$$\delta R_0 = \frac{4Dl_b}{d^2 t} \delta \rho + \frac{4\rho l_b}{d^2 t} \delta D + \frac{4\rho D}{d^2 t \Delta l_b} \delta l_e - \frac{8\rho D L_b}{d^3 t} \delta d - \frac{4\rho D l_b}{d^2 t^2} \delta t \quad (15)$$

У цьому випадку диференціювання замінене розподілом на шукану характеристику й множенням на показник ступеня з урахуванням його знака. В увагу береться також змінний знак  $l_b$  який впливає на похибку виготовлення висоти каркаса  $\Delta h$ . У такий спосіб можна обчислити значно точніше, швидше й зручніше необхідні нам значення допуску, а, виходить, і точність ФП.

### **Висновки**

Виконано аналіз існуючих методів визначення точності ФП, і виявлені основні їхні недоліки. Запропоновані більш зручні й більш точні методи розрахунків для визначення точності виготовлення ФП.

### ЛІТЕРАТУРА

1. В.С. Локтаев, Л.М. Карамзин «Анализ технологического процесса изготовления функциональных потенциометров» – М.: – 1987 – 31 с.
2. В.О. Румбешта Основи технології складання приладів. – Київ: –1993. – 303 с.

Надійшла 16.07.2009