

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; ρ – питомий опір φ – кут підйому витка намотки; α - 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 ступенчатости в проволочно-намотаном ФП використовують наступну формулу:

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

де Δu – величина похибки вихідної напруги через ступінчастість;

Δn – 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

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

Середня відносна похибка визначається так само як і середня абсолютна:

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

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 дровових 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 ΔR цим методом приймаємо рівняння зв'язку для ФП

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

де ρ – 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

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

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_e який впливає на похибку виготовлення висоти каркаса Δh . 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. – К.: –1993. – 303 с.

Надійшла 16.07.2009