

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МІКРОТЕРМОАКТЮАТОРА

Синявський Б. О.

(Науковий керівник – к.т.н. Адаменко Ю. Ф.)

Вступ

На сьогоднішній день, теплові мікроелектромеханічні (МЕМ) пристрої використовують в різноманітних галузях по всьому світу. Завдяки своїм перевагам теплові МЕМ пристрої викликали великий попит у таких виробках як: автомобільна електроніка, побутові пристрої, робототехніка, а також військова, медична, наукова та інша спеціалізована техніка [1].

Одним з найскладніших та найважливіших з етапів проектування



Рисунок 1 — Модель термоактюатора

МЕМ пристроїв є їх попереднє математичне та/або комп'ютерне моделювання. Метою даної роботи є створення математичної моделі теплового мікроактюатора, що представляє собою V-подібну балку виготовлену з нікелю (Ni), з

якорями (опорами) на обох кінцях (рис. 1). Розміри балки становлять 410 мкм у довжину (L), 6 мкм у висоту (H) і 3 мкм завширшки (W). Кут вигину балки складає 0,05 радіан [2].

Математична модель

При подачі напруги на якоря, струм протікає вздовж балки, завдяки чому відбувається її нагрів, при цьому відбувається її видовження на величину ΔL :

$$\Delta L = \alpha L \cdot L \cdot \Theta(t), \quad (1)$$

де αL — коефіцієнт лінійного теплового розширення; L — початкова довжина балки; $\Theta(t)$ — залежність різниці температури балки і навколишнього середовища від часу і розраховується, згідно [3]:

$$\Theta(t) = \frac{I^2 \cdot R}{K \cdot F} \cdot (1 - e^{-\frac{K \cdot F}{m \cdot c} t}), \quad (2)$$

де I — струм, що протікає по балці (провіднику) $I = U/R$, U — прикладена напруга; R — опір провідника; K — загальний коефіцієнт тепловіддачі; F — поверхня охолодження провідника; m — маса

провідника; c — питома теплоємність матеріалу провідника; t — час протікання струму.

Опір провідника вважається незмінним і розраховується за формулою:

$$R = \frac{L \cdot \rho}{W \cdot H}, \quad (3)$$

де ρ — питомий електричний опір нікелю; W — ширина провідника; H — висота провідника.

Поверхня охолодження провідника (нижньою частиною можна знехтувати, оскільки вона близька до основи та майже не охолоджується) та маса провідника розраховуються за формулами:

$$F = 2L \cdot H + L \cdot W, \quad (4)$$

$$m = L \cdot H \cdot W \cdot \rho_{Ni}, \quad (5)$$

де ρ_{Ni} — щільність нікелю.

Загальний коефіцієнт тепловіддачі розраховується за формулою:

$$K = \alpha_k + \alpha_r, \quad (6)$$

де α_k — коефіцієнт тепловіддачі конвекцією; α_r — коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням.

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією розраховується за формулою:

$$\alpha_k = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}, \quad (7)$$

де Nu — число(критерій) Нуссельта; λ — теплопровідність повітря; d — характерний розмір.

Число(критерій) Нуссельта розраховується за формулою:

$$Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n, \quad (8)$$

де c та n — коефіцієнти, що були знайдені у більшості випадків для реальних процесів експериментально й наведені в довідниковій літературі; Gr — число(критерій) Грасгофа; Pr — число(критерій) Прандтля.

Число(критерій) Грасгофа розраховується за формулою:

$$Gr = \frac{1}{T_0} \cdot g \cdot \frac{d^3}{\nu^2} \cdot \Delta T, \quad (9)$$

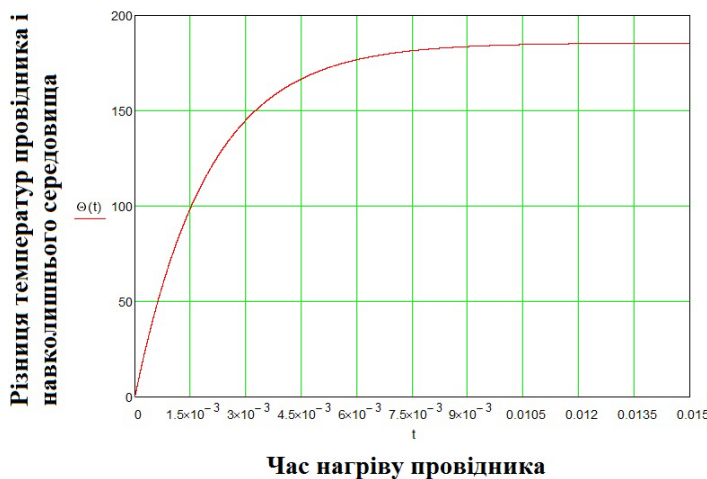
де T_0 — температура повітря; g — прискорення вільного падіння; ν — кінематична в'язкість середовища (повітря); ΔT — перепад температур.

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням розраховується за формулою:

$$\alpha_r = c_0 \cdot \varepsilon \cdot \frac{T_p^4 - T_0^4}{T_p - T_0}, \quad (10)$$

де c_0 — коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла; ε — ступень чорноти провідника (обраний для нікелю окисненого); T_p — очікувана температура провідника при.

Зазвичай коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням набагато менший



ніж коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, тому їм можна знехтувати.

Це дало змогу змодельовати нагрів провідника, тобто дослідити значення Θ — різниця температури провідника та навколишнього середовища (перегрів — перевищення температури балки по відношенню до навколишнього середовища). Це значення

Рисунок 2 — Залежність різниці температури провідника та навколишнього середовища від часу

змінюється з часом від $t_1=0$ мс до $t_2=15$ мс, з кроком $\Delta t=0,001$ мс та наближається до сталого значення, як можна побачити на рис. 2.

Після цього були розраховані наступні параметри:

$$l = 2 \cdot L \cdot \cos(\alpha), \quad (11)$$

де l — відстань між якорями; α — кут вигину балки.

Довжина балки після подовження L_{iz} :

$$L_{iz} = L + \Delta L, \quad (12)$$

Таким чином, з'явилася змога побудувати модель положення балок до та після нагріву.

Графічне зображення подовження балки можна побачити на рис. 3.

Завдяки цій моделі можна розраховувати швидкодію та величину видовження балки, в залежності від поданої напруги. Ця інформація є найважливішою для таких пристроїв, як реле, різноманітних перемикачів, керуючих пристроїв та ін.

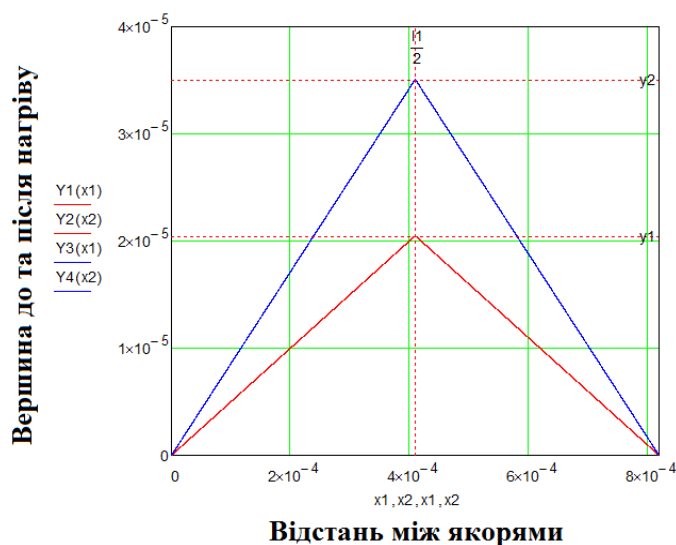


Рисунок 3 — Переміщення вершини при нагріві визначити швидкодію термоактюатора, тобто, як швидко відбувається переміщення на задану відстань при нагріванні. Також дану модель можна буде вдосконалити для розрахунку багатокаскадних термоактюаторів.

На даний момент єдиним недоліком запропонованої моделі є те, що не враховується вигин балки при подовженні, що в свою чергу створює деяку додаткову похибку розрахунків.

Перелік посилань

1. Механцев Е.Б. Физические основы микросистемной техники / Е.Б. Механцев, И.Е. Лысенко — Таганрог: Издательство ТРТУ, 2004.— 54 с.
2. Long Que Bent-beam electrothermal actuators-Part I:Single beam and cascaded devices / Long Que, Jae-Sung Park, Yogesh B. Gianchandani // JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, VOL. 10 – 2001. – №2. – P. 247–254.
3. Уваров Б. М. Оптимізація теплових режимів та надійності конструкцій радіоелектронних засобів з імовірнісними характеристиками / Б. М. Уваров, Ю. Ф. Зінковський — К. : «Корнійчук», 2011. — 248 с.

Висновки

Дана математична модель дозволяє розрахувати та змодельовати переміщення вершини термоактюатора за різних умов та вихідних даних, а саме: напруга живлення, матеріал та геометричні розміри термоактюатора, зовнішні умови. Також можна